Aus der Abteilung für Audiologie und Phoniatrie der
„WE Hals-Nasen-Ohrenklinik mit Polikliniken" im Klinikum Steglitz
der Freien Universität Berlin
Leiter der Abteilung: Professor Dr. med. O. v. Arentsschild

EEG-AUDIOMETRIE
bei gehörlosen und resthörigen Schulkindern

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den
Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Anneliese Ott geb. Blumenthal
aus Gerwisch

1976

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549024_0059

Aus der Abteilung für Audiologie und Phoniatrie der "WE Hals-Nasen-Ohrenklinik mit Polikliniken" im Klinikum Steglitz der Freien Universität Berlin

Leiter der Abteilung: Prof. Dr. med. O. v. Arentsschild

E E G - A u d i o m e t r i e

bei gehörlosen und resthörigen Schulkindern

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Anneliese O t t geb. Blumenthal
aus Gerwisch

Referent: Prof. Dr. med. O. v. A r e n t s s c h i l d

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. D. M r o w i n s k i

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 2. Juni 1976

Inhaltsverzeichnis

Seite

A. Einleitung 4

B. Methodik und Material 5

I. Grundlagen der EEG-Audiometrie 5

II. Methodik 7

III. Material 8

a. Altersverteilung 8
b. Vermutliche Ursache des Hörschadens 9

C. Eigene Untersuchungen 11

I. Hörschwellen 11

II. Bestimmung des Hörverlustes für Töne (HVT) aus dem Reintonschwellenaudiogramm 20

III. Hörgeräte 21

IV. Latenzzeiten 23

V. Bericht über zwei ehemalige Schüler der Gehörlosenschule mit zentralen Hörstörungen 26

D. Diskussion 36

I. Untersuchung und Auswertung 36

II. Objektive Schwellenmessung 37

III. Elektrophysiologische Tests als diagnostische Hilfen bei Innenohrschwerhörigkeit 38

E. Zusammenfassung 43

F. Literaturverzeichnis 45

G. Danksagung 53

H. Lebenslauf 54

A. Einleitung

Das auditorische System unterliegt im Normalfall einer ständigen Entwicklung von der Geburt an. Dazu benötigt das Kind die akustischen Reize seiner Umwelt. Das ist ein natürliches Hörtraining und führt schließlich zur optimalen Sprachentwicklung. Für das hörgeschädigte Kind ist eine möglichst frühzeitige exakte Diagnose von größter Wichtigkeit, damit das Restgehör durch entsprechende Hörhilfen und ein gezieltes Hörtraining so früh wie möglich genutzt werden kann und die Folgen des eingeschränkten Hörvermögens minimal bleiben.

Die Erfahrungen mit Hörgeräten sind in vielen Fällen trotz ungünstiger Hörschwellen erstaunlich gut. Hier ist die Existenz einer Schalleitungskomponente möglich. Bei anderen Kindern sind die Ergebnisse dagegen unerwartet schlecht, und man muß entweder mit einer alleinigen oder zusätzlich bestehenden Reizverwertungs- oder Spracherkennungsstörung rechnen, oder es kann z.B. eine rechts- und linksseitig bezüglich Latenz, Dynamik und cortikaler Erregung divergierende Innenohrschwerhörigkeit vorliegen, wie Holm und Stange (1973, 28) sie beschreiben.

Auf Anregung des Herrn Prof. Dr. med. O. von Arentsschild habe ich mir die Aufgabe gestellt, die Brauchbarkeit der ERA (Evoked Response Audiometry) für die Diagnose bei praktisch tauben Kindern der Ernst-Adolf-Eschke-Schule, einer Gehörlosenschule in Berlin-Charlottenburg, zu testen und die Ergebnisse mit denen der herkömmlichen subjektiven Tonschwellenaudiometrie zu vergleichen. Außerdem wollten wir feststellen, ob man mit Hilfe der ERA in dieser Schule Kinder mit akustischer Agnosie finden kann, die bei früheren Untersuchungen nicht als solche erkannt worden waren. Den Anlaß zu dieser Untersuchung boten zwei zunächst für taub gehaltene und so erzogene türkische Kinder, die bei der ERA annähernd normale Hörschwellen zeigten, sowie zwei ehemalige Schüler der Gehörlosenschule, bei denen früher eine akustische Agnosie angenommen wurde.

Die verwendeten Bezeichnungen der Schwerhörigkeitsgrade entsprechen der für hörpädagogische und phoniatrische Zwecke üblichen Einteilung, wie sie v. Arentsschild (1970, 2) angibt.

B. Methodik und Material

I. Grundlagen der EEG-Audiometrie

P. Davis entdeckte im Jahre 1939 Veränderungen im EEG nach akustischer Reizung. Wegen des ungünstigen Signal-Störverhältnisses ist jedoch dieses reizabhängige Signal ohne technische Hilfsmittel nur unsicher oder gar nicht zu erkennen. Es wird von der Spontanaktivität der Hirnrinde im EEG überdeckt. Erst durch die Anwendung elektronischer Mittelwertbildner (averager) gelang es Dawson, kortikale Potentiale nach elektrischer Reizung eindeutig und reproduzierbar darzustellen (Dawson 1947, 22). Besonders Keidel und Spreng ist die Weiterentwicklung dieser Methode zur klinisch anwendbaren Audiometrie zu verdanken.

Ein Grundgedanke des Verfahrens liegt darin, daß der zeitliche Mittelwert der statistisch verteilten Potentiale des Ruhe-EEG gleich Null ist, wenn das Zeitintervall nur genügend lang gewählt wird. Registriert und speichert nun ein Rechner beispielsweise N = 100 EEG-Abschnitte von je einer Sekunde Dauer (Registrierzeit) und addiert alle diese Kurvenzüge im Sinne der Addition von Funktionen, so ist die Summenfunktion fast eine Äquipotentiallinie mit dem Wert Null und nähert sich dieser um so mehr, je größer N wird. Läßt man nun auf ein Sinnesorgan einen adäquaten Reiz einwirken, so wird das Ruhe-EEG nach einer definierten Zeit (Latenzzeit) von einer charakteristischen Potentialschwankung überlagert. Wiederholt man die Stimulation mehrfach und öffnet gleichzeitig mit jeder Reizgabe ein Stromtor für den Rechner, der von Reizbeginn an eine Sekunde lang die Potential-Zeit-Funktion registriert, speichert und sukzessive zum bisherigen Ergebnis addiert, so verringert sich mit wachsender Zahl der Summanden der Einfluß der Spontanaktivität, während die reizkorrelierten Potentiale immer größere Amplituden annehmen, da sie zur gleichen Zeit nach Reizbeginn stets die gleiche Richtung aufweisen. In Abb. 1 kann der Lautsprecher wahlweise durch Kopfhörer ersetzt werden. Die Impulse können statt durch einen statistischen Impulsgeber auch manuell ausgelöst werden. Der Oszillograph 1 zeigt während der Untersuchung laufend die zwischen Vertex und Mastoid abgeleiteten Potentiale und ermöglicht somit eine Beurteilung des psychophysischen Zustandes des Patienten sowie der technischen

Qualität der Ableitung. Der Oszillograph 2 zeigt die jeweils vom Rechner ermittelte Summenfunktion an, die auch vom x-y-Schreiber nach beliebig vielen Mittelungsschritten (Additionsschritten) aufgezeichnet werden kann. Eine solche Aufzeichnung zeigt die Abb. 2 nach 16, 32 und 48 Mittelungsschritten. Die positiven Zacken dieser evozierten Potentiale (evoked potentials) werden mit P_1, P_2,....., die negativen mit N_1, N_2,..... bezeichnet.

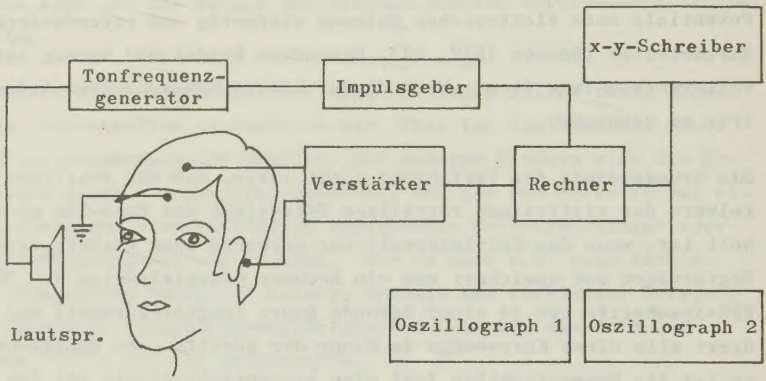


Abb. 1. Prinzipieller Aufbau einer EEG-Mittelungsanlage, vereinfachtes Blockschaltbild

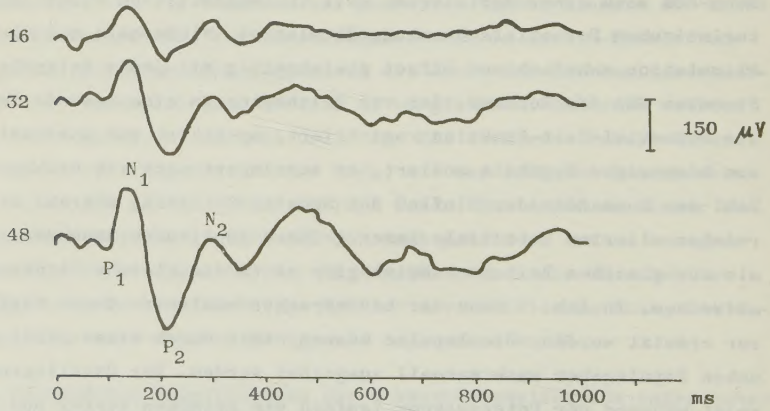


Abb. 2. Reizkorrelierte Potentialänderungen nach 16, 32 bzw. 48 Mittelungen bei einem 9jährigen praktisch tauben Mädchen. Reizfrequenz 500 Hz, Reizintensität 100 dB HV, Reizfolge unregelmäßig mit Abständen zwischen 2 und 4 sec

II. Methodik

72 Schüler einer Gehörlosenschule im Alter von 7 bis 17 Jahren wurden von uns audiometrisch untersucht. Die Schule hatte z.Z. unserer Messungen 98 Schüler. Eine Auswahl der Schüler erfolgte nicht. Wir untersuchten alle Kinder, deren Eltern ihre Einwilligung dazu erklärt hatten. Bei jedem Schüler wurde ein subjektives Tonschwellenaudiogramm für Luftleitung angefertigt und eine ERA-Untersuchung durchgeführt. In gleicher Weise wurden im Anschluß daran noch zwei 21 bzw. 18jährige ehemalige Schüler dieser Schule getestet.

Für den objektiven Test benutzten wir das PAR-Audiometer Modell 140 (Princeton Applied Research Corporation) in Verbindung mit dem Signal Recovery System DL 102 A (Data Laboratories). Die Potentiale wurden mit Beckmann-Elektroden nach der Standardanordnung in einer akustisch gedämmten Meßkammer bei liegenden wachen Kindern abgeleitet. Die Registrierzeit betrug 1 sec, die Anzahl der Mittelungen 48 oder 64. Die Summenpotentiale wurden nach jeweils 16 Mittelungen mit einem x-y-Schreiber ausgeschrieben. Als Stimuli verwendeten wir Audiometertöne von 500 Hz und 1000 Hz, die mit 300 ms Dauer und einer Anstiegs- und Abfallzeit von 10 ms über Kopfhörer binaural angeboten wurden. Jeder Test begann mit einer Reizgröße von 80 dB HV (Kalibrierung nach ISO R 389), die bei positiver Reizantwort in 10-dB-Schritten gesenkt wurde. Bei nicht erkennbaren akustisch evozierten Potentialen (AEP's) steigerten wir die Schallintensität bis 110 dB HV in 10-dB-Schritten. Außerdem wurden Stimuli von 1000 Hz und 60 dB HV über Knochenleitung am rechten Mastoid angeboten. Zum Vergleich mit den akustisch evozierten Reizantworten wurden ferner optisch und vibrotaktil evozierte Potentiale registriert. Die Reizfolge war unregelmäßig mit Abständen zwischen 2 und 4 sec.

III. Material

a. Altersverteilung

Die 72 Schüler zeigten folgende Altersverteilung:

Alter (Jahre)	Anzahl	Prozentsatz der untersuchten Schüler
7	2	2,8
8	10	13,9
9	3	4,2
10	8	11,1
11	10	13,9
12	9	12,5
13	5	7,0
14	12	16,7
15	10	13,9
16	2	2,8
17	1	1,4

Tab. 1. Altersverteilung der untersuchten Schüler

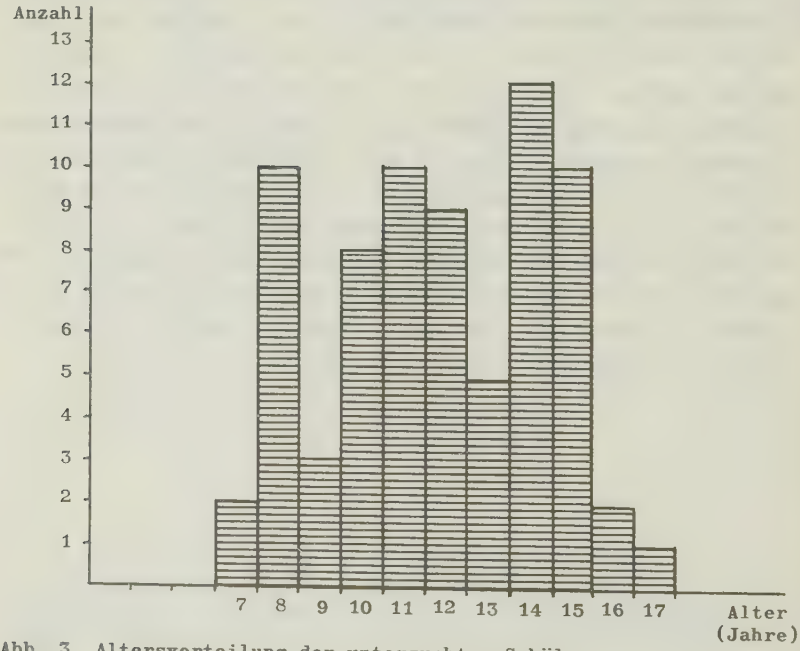


Abb. 3. Altersverteilung der untersuchten Schüler

Das mittlere Alter betrug 11,8 Jahre.

b. Vermutliche Ursache des Hörschadens

Zur Beurteilung der vermutlichen Ursache der Hörstörung lagen uns die Angaben der Eltern auf Erhebungsbögen der Schule und ärztliche Befunde vor. Danach konnten wir vier Gruppen unterscheiden:

1. Hereditärer Hörschaden.
2. Prä- oder perinatal erworbener Hörschaden.
3. Im frühen Kindesalter erworbener Hörschaden.
4. Hörschaden unklarer Genese.

Ursache	1973	1970	1960
Hereditär	31 %	27 %	20 %
Prä- oder perinatal erworben	11 %	4 %	2 %
Im frühen Kindesalter erworben	22 %	28 %	50 %
Unklare Genese	36 %	41 %	28 %

Tab. 2. Vergleich der vermutlichen Ursache der Hörstörung bei den Schülern der Gehörlosenschule, die bei Erhebungen aus den Jahren 1960, 1970 und 1973 ermittelt wurden

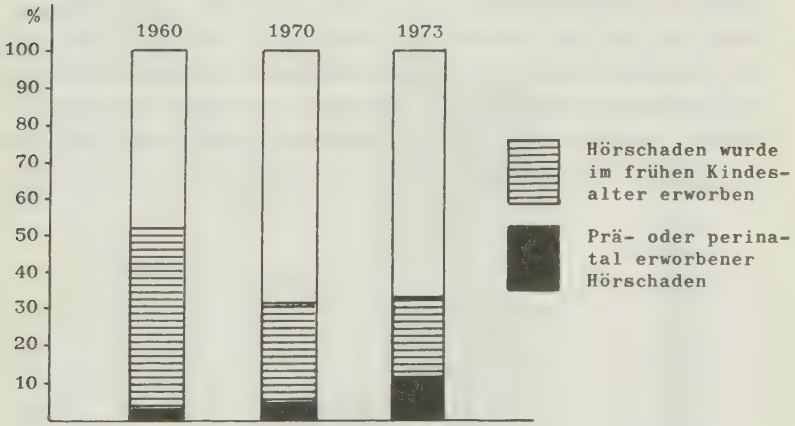


Abb. 4. Vergleich der vermutlichen Ursache der Hörstörung bei den Schülern der Gehörlosenschule, die bei Erhebungen aus den Jahren 1960, 1970 und 1973 ermittelt wurden

Aus der Gegenüberstellung der Zahlen aus den Jahren 1960 (Blaschke 1961, 11), 1970 (Asen 1971, 3) und 1973 scheint hervorzugehen, daß der Anteil der perinatal erworbenen Gehörlosigkeit stark ansteigt, während der Prozentsatz der frühkindlich erworbenen Gehörlosigkeit sinkt. Meines Erachtens kommt darin zum Ausdruck, daß es in steigendem Maße gelingt, einerseits perinatal geschädigte Kinder am Leben zu erhalten und andererseits das Risiko frühkindlicher Infektionskrankheiten zu mindern. Zweifellos spielt auch die Aufdeckung der Ototoxizität der Aminoglukoside, insbesondere der sogenannten entgifteten Aminoglukoside, und die daraufhin erfolgte weitgehende Meidung hoher Dosen dieser Antibiotika eine wichtige Rolle (Mückter 1966, 34, Kuschinsky 1966, 32, Stupp 1967, 54).

Die Testung der Schüler verlief unabhängig vom Alter und der Ursache des Hörschadens ohne nennenswerte Schwierigkeiten. Nur vier Kinder zeigten leichte motorische Unruhe. Die Untersuchung dauerte im Mittel eine Stunde. Die Kinder wurden nicht sediert. Sie blieben während des Tests ausnahmslos wach. Um die Untersuchung nicht ausdehnen zu müssen, wodurch die kortikalen Potentiale ungünstig beeinflußt würden, beschränkten wir das Programm auf die oben dargestellten Punkte. Die Kinder wurden vor Beginn des Tests zur Aufmerksamkeit aufgefordert, um so die Vigilanz und damit Größe und Stabilität der AEP's günstig zu beeinflussen. In unserer Versuchsreihe wurden die Stimuli in unregelmäßiger Reizfolge manuell und unter ständiger EEG-Kontrolle ausgelöst. Das ermöglichte uns die laufende Kontrolle des psychisch-physiologischen Status des Probanden sowie der technischen Qualität der Ableitung.

C. Eigene Untersuchungen

I. Hörschwellen

Zum Vergleich der Ergebnisse möchte ich zunächst die Häufigkeit der subjektiv und objektiv ermittelten Hörschwellen für die Testfrequenzen 500 und 1000 Hz darstellen. Dazu fasse ich die ermittelten Schwellenwerte in Gruppen mit einem jeweiligen Abstand von 10 dB zusammen.

Hörschwelle H (dB HV)	Anzahl	Prozentsatz der untersuchten Schüler
$25 < H \leq 35$	1	1,4
$35 < H \leq 45$	0	0,0
$45 < H \leq 55$	1	1,4
$55 < H \leq 65$	4	5,6
$65 < H \leq 75$	5	6,9
$75 < H \leq 85$	24	33,3
$85 < H \leq 95$	22	30,6
nicht gehört	15	20,8

Tab. 3. Häufigkeit der subjektiv ermittelten Hörschwellen bei 500 Hz

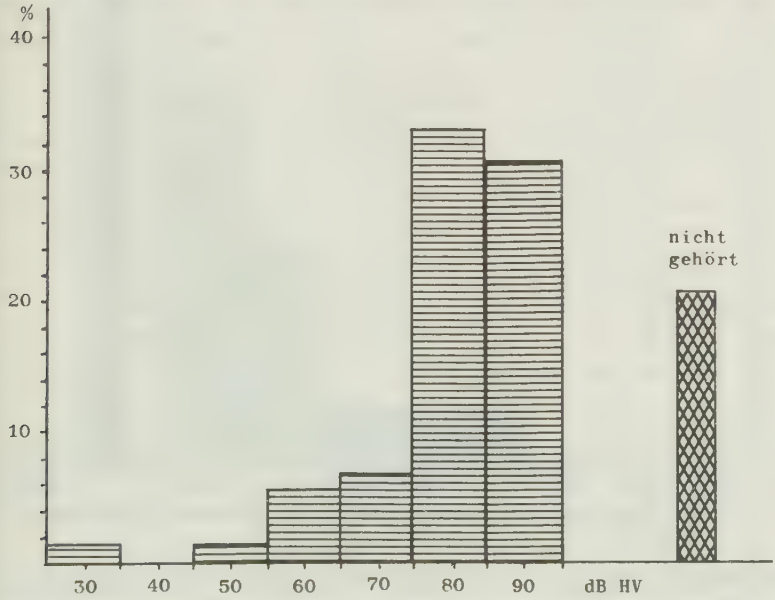


Abb. 5. Häufigkeit der subjektiv ermittelten Hörschwellen bei 500 Hz

Danach haben bei 500 Hz noch 48,6 % aller untersuchten Schüler einen subjektiven Höreindruck unter 90 dB HV. Weniger als 80 dB Hörverlust haben allerdings nur noch 15,3 % der getesteten Kinder. Entsprechend ergibt sich für die subjektiv ermittelten Schwellen bei 1000 Hz folgendes Bild:

Hörschwelle H (dB HV)	Anzahl	Prozentsatz der untersuchten Schüler
$55 < H \leq 65$	3	4,2
$65 < H \leq 75$	3	4,2
$75 < H \leq 85$	3	4,2
$85 < H \leq 95$	12	16,6
$95 < H \leq 105$	21	29,2
nicht gehört	30	41,6

Tab. 4. Häufigkeit der subjektiv ermittelten Hörschwellen bei 1000 Hz

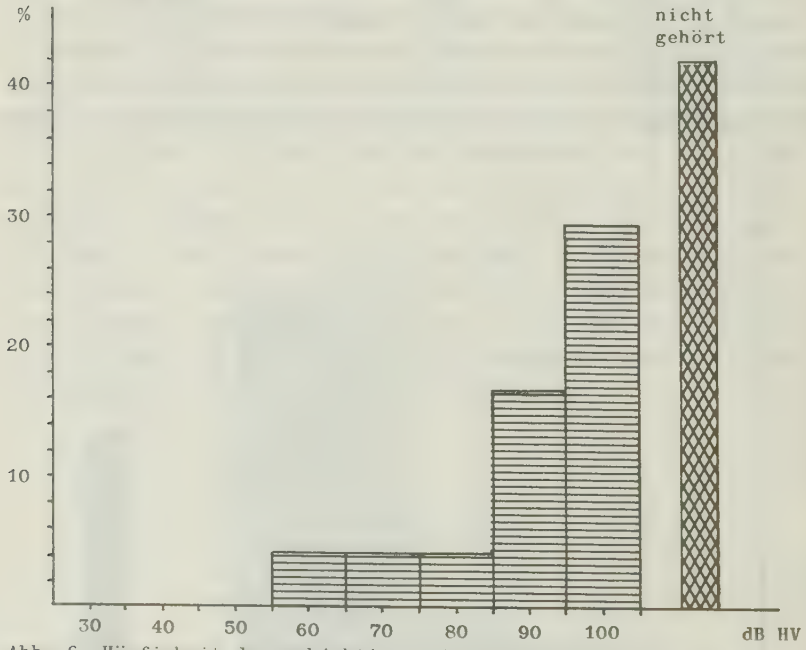


Abb. 6. Häufigkeit der subjektiv ermittelten Hörschwellen bei 1000 Hz

Bei 1000 Hz haben bei einer Schallstärke unter 90 dB HV nur noch 12,6 % der getesteten Schüler einen Höreindruck (48,6 % waren es

bei 500 Hz). Unterhalb 80 dB HV hören bei 1000 Hz nur noch 8,4 % gegenüber 15,3 % bei 500 Hz.

Mit der ERA ermittelten wir nur bei den beiden ehemaligen Schülern die Schwellen durch Extrapolation mehrerer supraliminärer Messungen nach Spreng (1967, 46), da in beiden Fällen nur eine leichte Schwerhörigkeit vorlag. Dabei waren die objektiv ermittelten Schwellen um 4 bzw. 5 dB besser als die subjektiv angegebenen. Bei den Schülern verzichteten wir aus Zeitgründen darauf. Eine solche genaue überschwellige Untersuchung müßte monaural für jedes Ohr durchgeführt werden und gleichzeitig eine differenzierte Diagnose bezüglich Schwellen, kortikaler Erregungskennlinien, Dynamik und Latenz zum Ziele haben (Holm und Stange 1973, 28). Diese Untersuchung wäre nur für Kinder mit ausreichenden Hörresten sinnvoll und müßte in nachfolgenden Sitzungen durchgeführt werden. Hier kam es uns zunächst nur darauf an, diese Kinder herauszufinden. Von den im Folgenden angeführten objektiv ermittelten Schwellenwerten ist daher zu erwarten, daß sie höher liegen als die wirkliche Schwelle. Reizantworten bei 110 dB HV wurden nicht als auditorische, sondern als taktile Reizantworten gewertet. Mit Hilfe der ERA ermittelten wir für 500 Hz und 1000 Hz folgende Hörschwellenverteilung:

Hörschwelle (dB HV)	Prozentsatz der untersuchten Schüler bei 500 Hz	Prozentsatz der untersuchten Schüler bei 1000 Hz
60	3,0	1,3
70	3,0	4,2
80	19,4	5,6
90	32,8	18,1
100	20,9	23,6
ohne AEP's	20,9	47,2

Tab. 5. Häufigkeit der objektiv ermittelten Hörschwellen für 500 Hz und 1000 Hz

Vergleichen wir jetzt in den Abbildungen 7 und 8 die Verteilung der subjektiv und objektiv ermittelten Schwellenwerte miteinander, so können wir eine recht gute Korrelation feststellen.

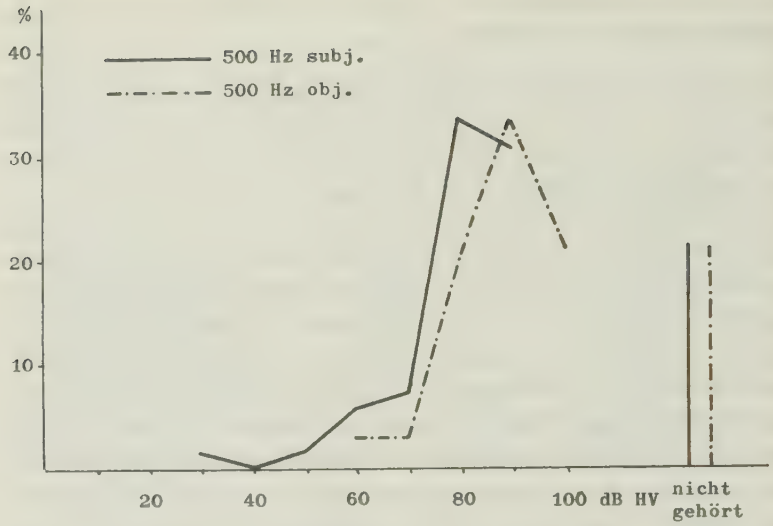


Abb. 7. Vergleich der Häufigkeiten der subjektiv und objektiv ermittelten Hörschwellen bei 500 Hz

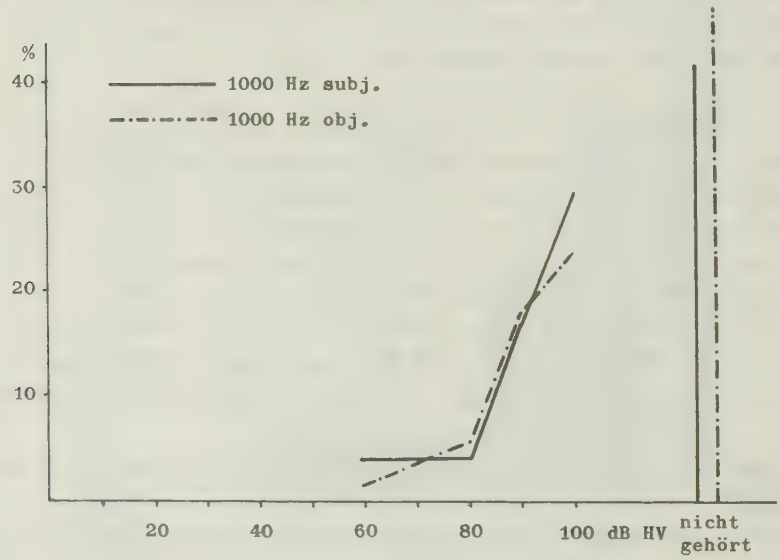


Abb. 8. Vergleich der Häufigkeiten der subjektiv und objektiv ermittelten Hörschwellen bei 1000 Hz

Bei 500 Hz liegt ein subjektiver Höreindruck bei 79 % aller untersuchten Schüler vor. Der mittlere Hörverlust beträgt dabei 81,8 dB (Standardabweichung ± 11,8 dB). Mit der ERA ergab sich ein mittlerer Hörverlust von 89,2 dB (Standardabweichung ± 10,0 dB) aus den vorliegenden Daten von 79 % aller untersuchten Schüler. Damit liegt die Pegeldifferenz zwischen den objektiv und subjektiv erhaltenen Schwellenmittelwerten bei 7,4 dB.

Bei 1000 Hz erhielten wir entsprechend im subjektiven Verfahren den von 58 % der untersuchten Schüler gemittelten Hörverlust von 92,4 dB (Standardabweichung ± 11,3 dB), während mit der ERA bei 53 % der Schüler der mittlere Hörverlust 91,0 dB (Standardabweichung ± 10,6 dB) resultierte. Damit liegt bei 1000 Hz der objektiv festgestellte mittlere Hörverlust um 1,4 dB niedriger als der subjektiv ermittelte. Qualitativ kommen diese Verhältnisse schon in den Abbildungen 7 und 8 zum Ausdruck.

Mit diesen Werten allein kann man über die Genauigkeit und Brauchbarkeit der ERA als objektives Hörprüfverfahren bei praktisch tauben Kindern noch keine erschöpfende Aussage machen, weil die Gruppen der Kinder für die objektiv bzw. subjektiv gemessenen Werte nicht identisch sind. Zur Erläuterung unterscheiden wir im Folgenden fünf Gruppen, die wir mit A, B, C, D und S bezeichnen.

Gruppe A umfaßt alle Schüler, die nach beiden Prüfverfahren einen Höreindruck erkennen ließen.

Gruppe B umfaßt diejenigen Schüler, bei denen mit beiden Prüfverfahren kein Höreindruck nachzuweisen war.

Gruppe C enthält die Kinder, die bei positivem subjektivem Höreindruck bei der jeweiligen Frequenz keine deutlichen AEP's zeigten.

Gruppe D erfaßt die Kinder, die trotz deutlicher AEP's im subjektiven Audiogramm bei der entsprechenden Frequenz keinen Höreindruck angaben.

Gruppe S enthält die übrigen Schüler.

Für 500 Hz gehören 49 Schüler zur Gruppe A, 8 Schüler zur Gruppe B, 5 Schüler zur Gruppe C und 4 Schüler zur Gruppe D. Bei einem Kind konnte wegen allgemeiner Retardiertheit kein subjektives Audiogramm erstellt werden. Bei fünf Schülern wurde aus zeitlichen Gründen die

Schwelle für 500 Hz nicht mit der ERA bestimmt. Daher gehören sechs Kinder zur Gruppe S.

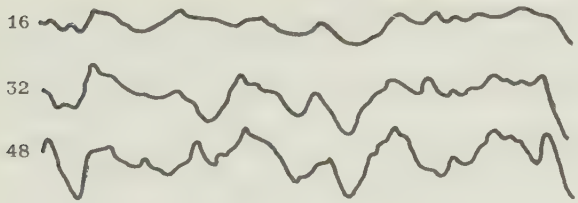
Wir betrachten nun die Gruppen C und D mit insgesamt neun Schülern etwas näher. Allgemein stellten wir bei Kontrollmessungen fest, daß Fehlangaben in den hellen Audiometrieräumen häufiger sind als in der abgedunkelten Meßkammer der EEG-Audiometrie. Die vorwiegend visuell eingestellten, stark hörgeschädigten Kinder neigen dazu, ihre Umgebung und die Handlungen der Audiometristin zu betrachten und sich weniger auf die akustischen Signale zu konzentrieren. Auf diese Weise lassen sich die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Prüfverfahren bei vier Schülern dieser beiden Gruppen erklären. Eichfehler können auf Grund regelmäßiger Überprüfung der Geräte ausgeschlossen werden.

In der Gruppe C, die fünf Schüler umfaßt, befinden sich zwei Schüler mit einer subjektiven Schwelle von 90 bzw. 95 dB HV. Hier ist es durchaus verständlich, daß bei 100 dB HV noch keine deutlichen AEP's zu erkennen sind. Ein Kind, das subjektiv 85 dB HV als Schwelle angab, zeigte auch erst bei 110 dB HV deutliche AEP's. Das vierte Kind dieser Gruppe konnte auf Befragen während der ERA-Untersuchung die Angaben des Tonschwellenaudiogramms, wo es angeblich bei 65 dB HV gehört habe, nicht bestätigen. Beim letzten Kind dieser Gruppe (subj. Schwelle 70 dB HV) handelt es sich offensichtlich um eine pathologische Adaptation oder vielleicht um eine Erschöpfungserscheinung. Während der ersten vier bis fünf akustischen Stimuli konnte man bei entsprechender Reizlautstärke bereits deutliche AEP's erkennen. Mit steigender Zahl der Mittelungsschritte zeigten die Amplituden der AEP's trotz bewußt verkleinerter Reizfolgefrequenz keine weitere Progredienz mehr.

Für eine differenzierte Diagnostik des derart gestörten akustischen Systems könnte man in nachfolgenden Untersuchungen bei diesem Kind <u>erstens</u> die gemessenen Kurven auf Reproduzierbarkeit untersuchen, <u>zweitens</u> ein Adaptations-Cerebro-Audiogramm (Stange und Soda 1968, 50) aufstellen und <u>drittens</u> der Vermutung nachgehen, ob in diesem Fall eine gesteigerte Latenzvariabilität vorliegt, die man nach einem Vorschlag von Spreng (1970, 48) mit Hilfe des Korrelationsfaktors objektivieren könnte.

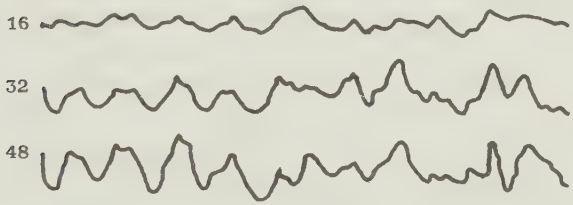
Kopfhörer, binaural, 500 Hz, 80 dB HV

a



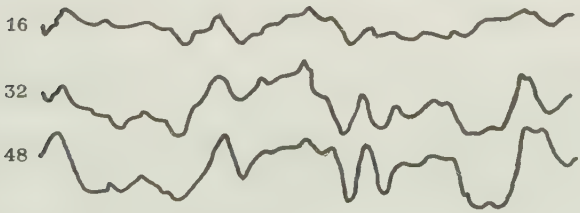
Kopfhörer, binaural, 500 Hz, 90 dB HV

b



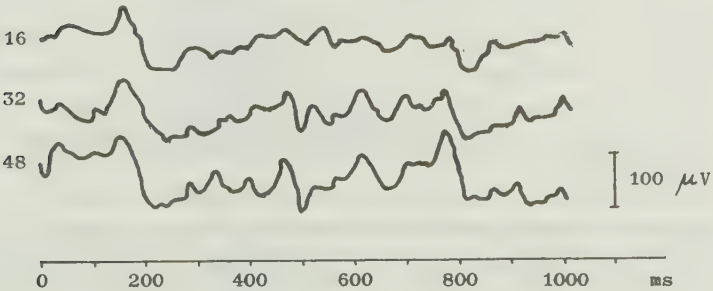
Kopfhörer, binaural, 500 Hz, 100 dB HV

c



Kopfhörer, binaural, 1000 Hz, 90 dB HV

d



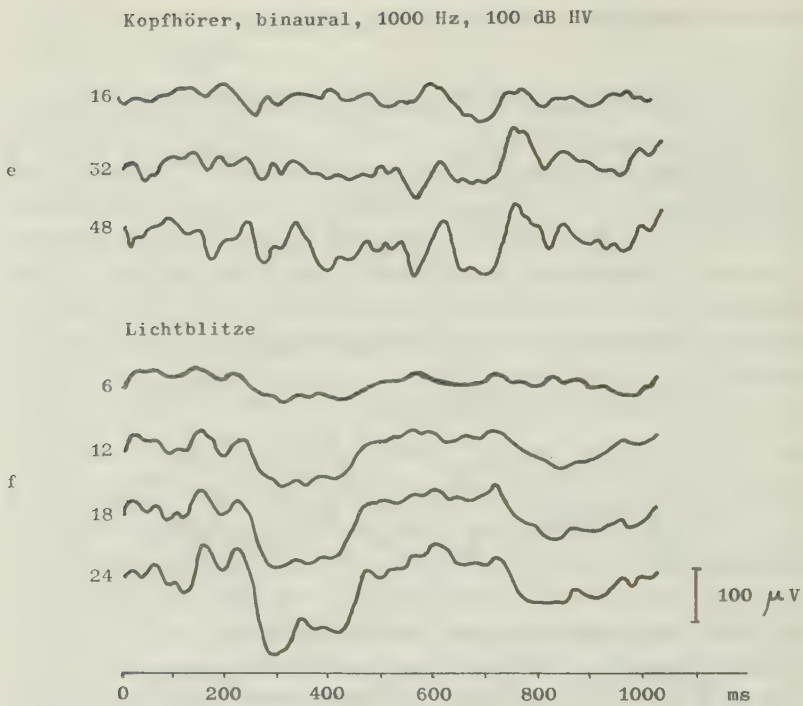


Abb. 9. 8jähriges Mädchen, prakt. taub bds., hereditäre Ursache.
1. Die Amplituden zeigen mit wachsender Zahl der Mittelungsschritte keine Progredienz.
2. Die Amplituden fallen mit steigender Untersuchungsdauer. Die Kurven wurden in der Reihenfolge d, e, a, b, c aufgenommen. Alle hier aufgeführten Töne wurden gehört.
3. Im Vergleich zu den akustisch evozierten Potentialen zeigen die optisch evozierten (f), die am Schluß der Untersuchung aufgenommen wurden, einen regelrechten Aufbau.

Die Gruppe D umfaßt vier Schüler, die auf Grund der ERA Hörschwellen bei 70, 80, 80 bzw. 90 dB HV erkennen lassen, im subjektiven Tonschwellenaudiogramm dagegen bei 500 Hz keinen Höreindruck angaben. Auf Befragen während der ERA-Messung haben sie aber - abgesehen von einer Ausnahme - die fraglichen Stimuli gehört.

Mit Hilfe dieser Gruppeneinteilung der Schüler erkennen wir nun, daß der Berechnung des Mittelwertes der subjektiv gemessenen Schwellen die Gruppen A, C und vier Schüler der Gruppe S zugrunde lagen, während mit der ERA die Kinder der Gruppen A, D und der

fünfte Schüler der Gruppe S erfaßt wurden. Für den Test bei 500 Hz können wir jetzt eine differenziertere Aussage treffen:

1. Bei 74,3 % aller subjektiv und objektiv getesteten Schüler konnten nach beiden Verfahren Hörschwellen zwischen 60 und 100 dB HV nachgewiesen werden. Die mittlere Schwellendifferenz betrug 5,4 dB (Standardabweichung ± 7,2 dB).

2. Bei 31,8 % aller nach beiden Verfahren untersuchten Kinder stimmen die subjektiv erhaltenen Ergebnisse mit den objektiv ermittelten überein. Diese Angabe umfaßt auch die Schüler (12,1 %), die bei 500 Hz kein nachweisbares Gehör haben.

3. In 13,6 % aller nach beiden Verfahren untersuchten Schüler war entweder im subjektiven Schwellenaudiogramm oder mit der ERA bei 500 Hz kein Gehör nachzuweisen, während das jeweils andere Verfahren Schwellen zwischen 65 und 95 dB HV ergab. Dieser Prozentsatz erscheint recht hoch. Klammert man jedoch, wie oben begründet, die beiden Fälle mit den subjektiven Schwellen bei 90 bzw. 95 dB HV aus und berücksichtigt auch diejenigen nicht, die auf Anfrage die Ergebnisse der ERA auch subjektiv bestätigten (6 %), dann bleibt nur bei drei Schülern (4,6 %) eine Diskrepanz zwischen subjektiver und objektiver Audiometrie.

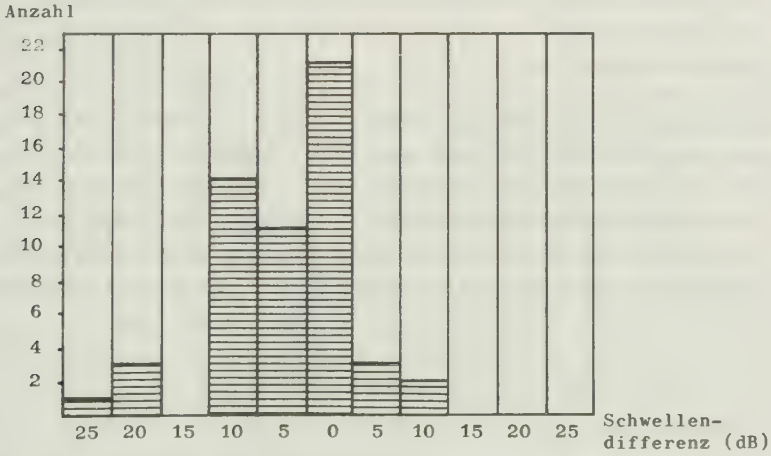


Abb. 10. Häufigkeit der Schwellenunterschiede beim Vergleich der subjektiv und objektiv ermittelten Schwellen bei 500 Hz. Links sind die objektiv ermittelten Schwellenwerte größer als die subjektiv angegebenen.

II. Bestimmung des Hörverlustes für Töne (HVT) aus dem Reintonschwellenaudiogramm

Um ein arithmetisches Verbindungsglied zwischen den Werten der Reintonaudiometrie, der Sprachaudiometrie, der Hörweitenbestimmung und der versicherungstechnisch wichtigen Größe des prozentualen Hörverlustes zu schaffen, führte Röser (1967, 39) den Begriff des Hörverlustes für Töne (HVT) ein, den er durch die Gleichung

$$HVT = \frac{3\ HV_{min} + 2\ HV_2 + HV_{max}}{6}\ dB$$

definierte. "Hierin bedeuten HV_{max} den größten, HV_2 den zweitgrößten und HV_{min} den kleinsten Hörverlust (dB) der drei jeweils zugeordneten Frequenzen. Der HVT ist aus den Frequenzen c^2, c^3 und c^4 zu ermitteln, wenn das Hörvermögen für Umgangssprache mit dem Tongehör verglichen werden soll. Für Flüstersprache sind die Frequenzen c^3, c^4 und c^5 maßgebend" (Röser 1967, 39).

Nach den Untersuchungen Rösers betrugen die Abweichungen zwischen Tonschwellenkurve und Sprachgehör (bezogen entweder auf die Hörweite für Umgangssprache oder auf die Hörweite für Flüstersprache oder auf den Hörverlust für Zahlen im Sprachaudiogramm) in 87 % der insgesamt 1100 untersuchten Fälle weniger als 10 dB, so daß man mit dem HVT in den meisten Fällen einen recht guten Anhaltspunkt für ein mögliches Sprachverständnis hat.

Da sich durch die modernen elektroakustischen Hörgeräte die Grenze zwischen Schwerhörigkeit und praktischer Taubheit von etwa 60 auf 90 - 110 dB Hörverlust verschoben hat (v. Arentsschild 1970, 2), ist für das hörgeschädigte Kleinkind ein HVT unter 90 dB gleichzeitig ein Hinweis auf die Indikation eines individuell angepaßten, das Sprachverständnis und damit den Spracherwerb fördernden Hörgerätes.

Unsere Erhebungen ergaben die folgenden Hörverluste für Töne:

HVT (dB)	Anzahl der Schüler	Prozentsatz
40 - 49	1	1,4
50 - 59	1	1,4
60 - 69	2	2,8
70 - 79	3	4,2
80 - 89	4	5,6
90 - 99	4	5,6

Tab. 6. Hörverluste für Töne (HVT)

Bei allen übrigen Kindern war in dem entscheidenden Frequenzbereich entweder kein Gehör nachzuweisen, oder die Kinder hörten nur einen Teil dieses Frequenzspektrums. Ein Kind war nicht audiometrierbar.

Zusammenfassend stellen wir fest, daß 15,4 % aller untersuchten Schüler einen geringeren HVT als 90 dB haben. Asen (1971, 3) ermittelte bei den derzeitigen Schülern der Gehörlosenschule 20 %. Das Untersuchungsalter lag damals zwischen 6 und 10 Jahren. Bei ehemaligen Schülern dieser Schule, die zur Zeit der Untersuchung mindestens 11, im Durchschnitt aber 15 Jahre alt waren, stellte er bei 28 % einen geringeren HVT als 90 dB fest.

III. Hörgeräte

"Bei Hörschäden von über 60 dB Hörverlust und nach deswegen erfolgtem Besuch von Gehörlosenschulen ohne Hörgerätegebrauch gelingt es im allgemeinen nicht mehr, Patienten durch eine Erstverordnung von apparativen Hörhilfen von der rein visuellen auf eine auditive Informationsaufnahme umzustellen. Hörgeräte werden dann trotz guten Willens dazu nicht mehr angenommen, obwohl das Resthörvermögen dafür ausreichen würde". "Es erscheint .... sicher, daß ein Nachholen der Sprachentwicklung schon vom 3. Lebensjahr ab nicht mehr ganz in vollem Umfang möglich ist" (v. Arentsschild 1970, 2). Das unterstreicht auch aus anderer Sicht die Wichtigkeit einer frühzeitigen Diagnose, der Versorgung mit apparativen Hörhilfen und der Hörerziehung des hörgeschädigten Kindes.

Während Asen (1971, 3) feststellte, daß in der Ernst-Adolf-Eschke-Schule alle Schüler mit Hörverlusten bis zu 80 dB mit Hörgeräten

versorgt waren, besaßen zur Zeit unserer Ermittlungen von den in Frage kommenden sieben Kindern nur drei ein Hörgerät. Es fällt auf, daß sich unter den vier Kindern ohne Hörgerät drei türkische Kinder im Alter von 10, 15 und 17 Jahren (HVT 55, 60 bzw. 64 dB) befanden. Einem deutschen Kind war das Gerät angeblich gestohlen worden.

Die folgende Graphik vermittelt einen Überblick über die Verteilung der Tonhörverluste und den Besitz sowie die regelmäßige Benutzung eines Hörgerätes bei den untersuchten Schülern.

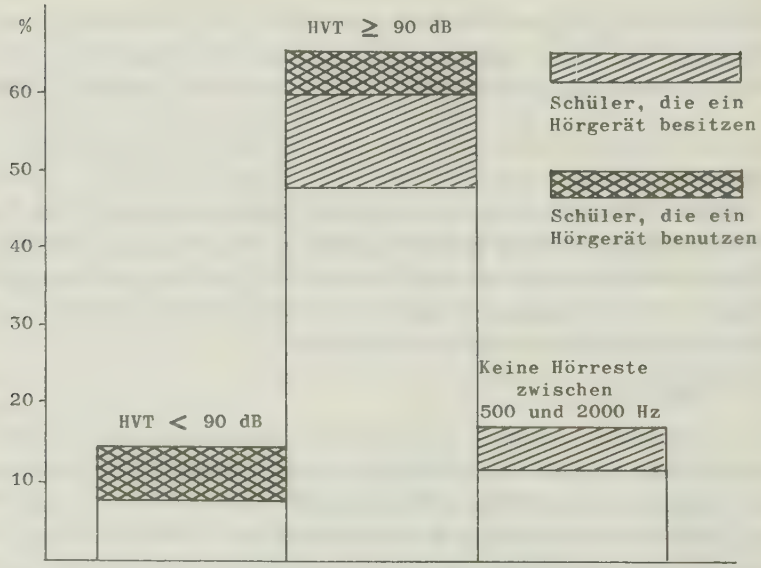


Abb. 11. Verteilung der Tonhörverluste sowie Besitz und Benutzung von Hörgeräten

Die türkischen Kinder sind ihren deutschen Gefährten gegenüber häufig benachteiligt. Erstens kommt die hiesige Betreuung bei den meisten Kindern zu spät im oben zitierten Sinne, zweitens lassen mehrere türkische Eltern die von der Schule mühevoll geknüpften Kontakte immer wieder abreißen. Das mindert den Erfolg der schulischen Bemühungen erheblich, da die Ergebnisse des Hörtrainings wesentlich von der Kooperation zwischen Schule und Elternhaus abhängen.

Elf Kinder haben einen HVT unter 90 dB. Davon besitzen fünf Kinder ein Hörgerät und tragen es regelmäßig. Von den 48 Kindern mit Hörverlusten von mindestens 90 dB besitzen 13 ein Hörgerät. Regelmäßig getragen wird das Gerät aber nur von vier Schülern. Auch von den 13 Schülern, die im Hauptsprachbereich keine Hörreste haben, besitzen noch vier Kinder ein Hörgerät, ohne es zu benutzen.

IV. Latenzzeiten

Die Latenzzeit der evozierten Potentiale vom Reizbeginn bis zur N_1-Zacke liegt zwischen 100 und 180 ms. Sie ist innerhalb dieses Intervalls umgekehrt korreliert zur Reizstärke, d.h., an der Hörschwelle beträgt sie etwa 180 ms, bei 30 dB sinkt sie auf etwa 140 ms und bei 50 dB über der subjektiven Schwelle auf 120 ms ab (Beagley and Knight 1967, 5). Diesen Zusammenhang veröffentlichten auch Davis und Yoshie (1963, 19) sowie Cody und Bickford (1965, 18). Hay und Davis (1971, 26) geben N_1 für normalhörende Erwachsene zwischen 70 und 100 ms an. Sie verwendeten akustische Stimuli mit einer Reizlautstärke von ca. 85 dB SPL. Burian gibt die Latenzzeit für N_1 bei Normalhörenden mit 150 bis 200 ms an. Er hebt besonders die großen Latenzunterschiede bei hörgestörten Kleinkindern hervor (Burian 1969, 14).

W. und Z. Bochenek (1972, 12) untersuchten 77 normalhörende, 28 schalleitungsgestörte sowie 38 schallempfindungsgestörte Personen, ermittelten die Latenzzeit der N_1-Spitze bei 40 dB über der subjektiven Schwelle und stellten dabei eine Abhängigkeit der Latenzzeit von der Art des Hörverlustes fest. Sie war am kürzesten in der Gruppe der Schallempfindungsgestörten (Mittelwert 86,9 ms) und am längsten in der Gruppe der Normalhörenden (Mittelwert 100,2 ms).

Danach ist die Frage naheliegend, ob sich auch Hörstörungen, die aus einer akustischen Agnosie oder einer Aphasie resultieren, signifikant von reinen Schallempfindungsstörungen durch eine veränderte Latenzzeit unterscheiden.

Sharrard (1971, 43) konnte weder in der Amplitude noch in der Latenz Unterschiede zwischen allein schwerhörigen und zusätzlich sprachgestörten Kindern feststellen. Auch die Differenzen zwischen den subjektiv und objektiv ermittelten Schwellen lagen in beiden Gruppen

innerhalb 10 dB. Auch Beagley (1971, 7) berichtet, daß "keine statistisch signifikante Differenz zwischen den mittleren Latenzen von N_1 (100mal gemittelt) in der schwerhörigen und der aphasischen Untersuchungsgruppe besteht, welche im Mittel jeweils Latenzen von 102 ± 7 und 105,5 ± 7,2 ms zeigen".

Unsere Messungen der Latenzzeiten für die N_1-Zacke bei optisch, taktil sowie akustisch mit 500 und 1000 Hz evozierten Potentialen hatten die folgenden Ergebnisse:

Latenzzeit (ms)	optisch (70 Kinder)	taktil (58 Kinder)	akustisch 500 Hz (44 Kinder)	akustisch 1000 Hz (56 Kinder)
90 - 105	4,3 %	1,7 %	15,9 %	14,3 %
110 - 125	7,1 %	5,2 %	36,4 %	37,5 %
130 - 145	42,9 %	39,6 %	13,6 %	14,3 %
150 - 165	27,2 %	27,6 %	15,9 %	17,8 %
170 - 185	10,0 %	19,0 %	9,1 %	10,7 %
190 - 205	7,1 %	5,2 %	4,5 %	5,4 %
210 - 225	1,4 %	1,7 %	2,3 %	---
230 - 245	---	---	2,3 %	---

Tab. 7. Latenzzeiten für N_1 bei optischer, taktiler und akustischer Stimulation

Den Darstellungen I bis IV der Abb. 12 (S. 25) liegen die Meßwerte von 70, 58, 44 bzw. 56 Schülern zugrunde. Das sind entsprechend 97, 80, 61 bzw. 78 % aller untersuchten Schüler. Bei IV wurden i. allg. Stimuli von 1000 Hz und 110 dB HV verwendet. In zehn Fällen wurde jedoch wegen der relativ niedrigen subjektiven Schwellen die Latenzzeit bei 80 bis 100 dB HV gemessen.

Die mittlere Latenzzeit beträgt im Falle optischer Stimulation 147 ms (±24 ms), bei taktiler Stimulation 152 ms (±21 ms), bei akustischer Stimulation mit 500 Hz 137 ms (±33 ms) und bei akustischer Stimulation mit 1000 Hz 135 ms (±28 ms).

Hay und Davis (1971, 26) registrierten bei normalhörenden Erwachsenen für taktil und durch "electric shocks" evozierte Potentiale ebenfalls größere Latenzzeiten (100 bis 140 ms) als für akustisch evozierte Potentiale (70 bis 100 ms).

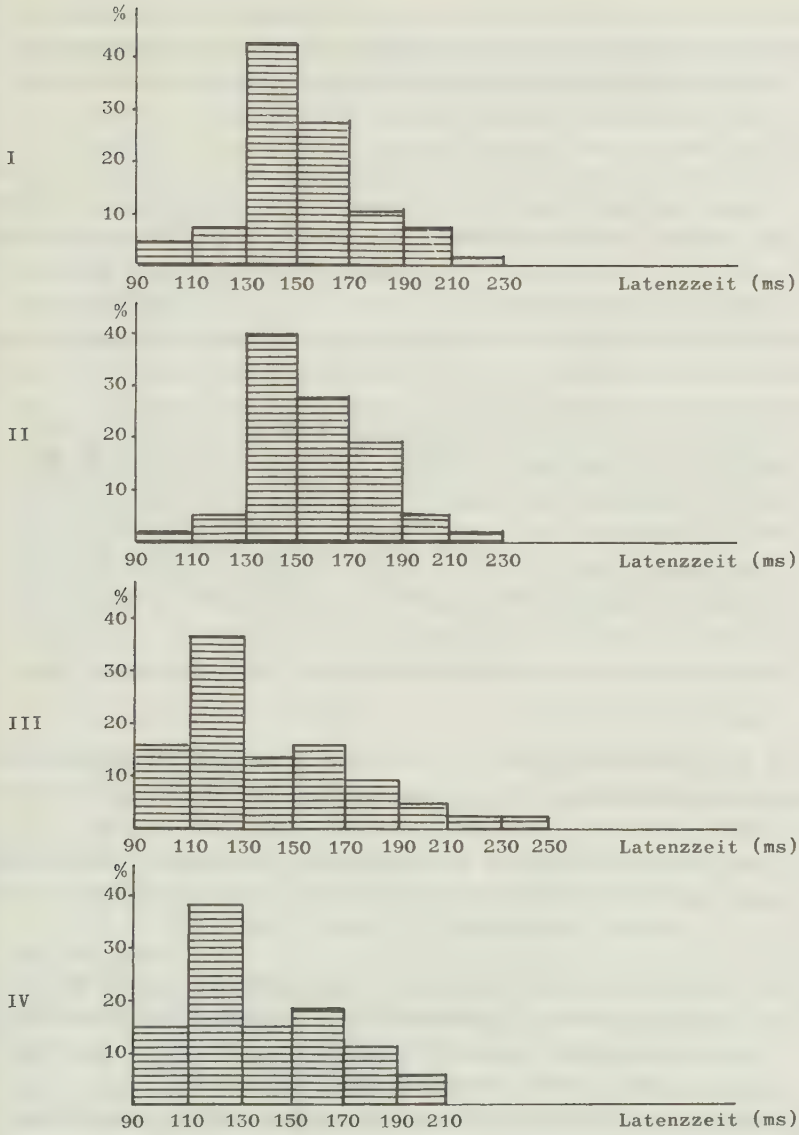


Abb. 12. Verteilung der Latenzzeiten für N_1 bei I optischer, II taktiler, III akustischer Stimulation mit 500 Hz, ca. 20 dB über der subjektiven Schwelle, IV akustischer Stimulation mit 1000 Hz, i. allg. 110 dB HV

Der Latenzunterschied zwischen optisch und akustisch evozierten Potentialen wächst mit der dargebotenen Lautstärke in dem Maße, wie sich die Latenz der AEP's mit zunehmender Reizlautstärke verkürzt, falls die optischen Signale konstant bleiben.

In den Darstellungen III und IV der Abb. 12 fällt der zweite Gipfel zwischen 150 und 170 ms auf. Möglicherweise kann man daraus entnehmen, daß bei beiden Frequenzen ein großer Teil der evozierten Potentiale bereits als Fühlantwort anzusehen ist. Das haben einige Kinder sowohl bei 500 Hz als auch bei 1000 Hz (110 dB HV) bestätigt, während andere nicht in der Lage waren, den Unterschied zwischen Hören und Fühlen zu erfassen.

Die Latenzzeit ist bei kleinen Kindern gegenüber der mittleren Latenzzeit bei Erwachsenen verlängert (Benning, Karnahl und Stange 1972, 10, Stange 1973, 53, Rapin und Graziani 1967, 37). Innerhalb unserer Gruppe von Schulkindern konnten wir keine signifikanten altersabhängigen Latenzunterschiede feststellen. Ebensowenig konnten wir eine Abhängigkeit der Latenzzeit von der vermutlichen Ursache der Gehörlosigkeit nachweisen.

V. Bericht über zwei ehemalige Schüler der Gehörlosenschule mit zentralen Hörstörungen

Zu den verwendeten Begriffen, die in der Literatur unterschiedlich benutzt werden, möchte ich einige Bemerkungen und Definitionen voranstellen.
"Unter akustischer Agnosie versteht man die Unfähigkeit, akustische Reize nach ihrem Klang zu erkennen. In der älteren Literatur findet sich der Begriff Seelentaubheit" (Loebell 1973, 33).

Klinisch unterteilt Loebell nach dem Schweregrad der Symptomatik die zentral impressiven Sprachentwicklungsstörungen folgendermaßen:
1. Totale akustische Agnosie (Seelentaubheit) als schwerste Form.
2. Agnosie für Sprache (Sprachtaubheit).
3. Partielle Lautagnosie als leichteste Form, die durch ständiges Verwechseln bestimmter Konsonanten gekennzeichnet ist.

Nach Loebell zeigt das Ergebnis objektiver Hörprüfungen ausreichendes Gehör. Bei der Spielaudiometrie wird eine leichte bis mittelgradige Schwerhörigkeit vorgetäuscht.

Loebell verwendet offenbar den Begriff Agnosie als Oberbegriff für die verschiedenen Formen zentraler Schallperzeptionsstörungen. Danach würde eine totale akustische Agnosie zwangsläufig auch eine Agnosie für Sprache beinhalten. Dagegen veröffentlichten Spreen et al. (1965, 45) einen Fall akustischer Agnosie ohne Aphasie auf Grund einer rechtsseitigen parieto-temporo-frontalen vaskulären Läsion.

Gloning (1973, 25) unterscheidet "akustische Agnosie (Seelentaubheit, psychische Taubheit)" von "Sprachtaubheit (verbale Agnosie, reine Worttaubheit, subkortikale sensorische Aphasie)" als zwei von insgesamt fünf voneinander unabhängigen zentralen Hörstörungen, die auch kombiniert auftreten können. Ihre neuropathologische Ursache sei in Läsionen oder Entwicklungsstörungen verschiedener Hirnstrukturen zu suchen. Nach Glonings Definition der akustischen Agnosie wird gefordert, daß "das Erkennen nicht verbaler Laute (z. B. Glokkenläuten, Ticken einer Uhr, Tierstimmen etc.) unmöglich ist, obwohl die primäre akustische Empfindung nicht betroffen ist". Bei der Sprachtaubheit "sind bei weitgehender Intaktheit übriger Sprachleistungen die Diskrimination und Identifikation der einzelnen Aufbauelemente der Sprache gestört. Es handelt sich um eine rein rezeptive Sprachstörung, wobei .... die einfachen, primären Hörleistungen intakt sein sollen".

Danach decken sich der von Loebell verwendete Begriff Agnosie für Sprache und der von Gloning benutzte Begriff Sprachtaubheit mit der neben anderen von Beagley benutzten Bezeichnung rezeptive Aphasie (receptive aphasia) (Beagley 1971, 7). In diesem Sinne soll der Begriff rezeptive Aphasie im folgenden ebenfalls benutzt werden.

Bei den beiden ehemaligen Schülern handelt es sich um den 21jährigen T. K. und den 18jährigen M. Z. Nach Auskunft der Mutter litt der jetzt 21jährige T. K. im Alter von $2\frac{3}{4}$ Jahren im Anschluß an eine kombinierte Diphtherie-Tetanus-Masern-Schutzimpfung an einer scheinbar leichten fieberhaften Erkrankung, die nach einer Woche wieder abklang. Einen Monat später bemerkte die Mutter das Nachlassen des Hör- und Sprechvermögens. Das Kind wurde zunächst als gehörlos angesehen. Es besuchte daher später die Gehörlosenschule. Im Alter von zehn Jahren wurde die Diagnose "Hörstummheit bis Seelentaubheit" gestellt. Die Aufnahme eines Tonaudiogramms war dem unter-

suchenden Arzt nicht sicher möglich. Man vermutete jedoch, daß das Gehör annähernd normal sei. Das Kind besuchte danach eine Sprachheilschule, wo es lernte, sich schriftlich auszudrücken.

Heute spricht T. K. wenig und schwer verständlich. Das Absehen der Sprache vom Gesicht des Sprechers beherrscht er nicht, es wird auf der Sprachheilschule nicht gelehrt. T. K. hört gern Musik, er kann auch den Klang der verschiedenen Instrumente voneinander unterscheiden. Nach Angaben der Mutter unterscheidet er auch den Klang der Hausklingel von dem der Telephonklingel sofort und nicht erst auf Grund der rhythmischen Folge solcher Signale. Bei unserer Untersuchung reagierte er auf Geräusche wie Rufen, Glocke, Händeklatschen ohne Verzögerung und lokalisierte die Geräuschquelle bei geschlossenen Augen richtig im Raum. Die Untersuchung ergab das folgende Tonschwellenaudiogramm:

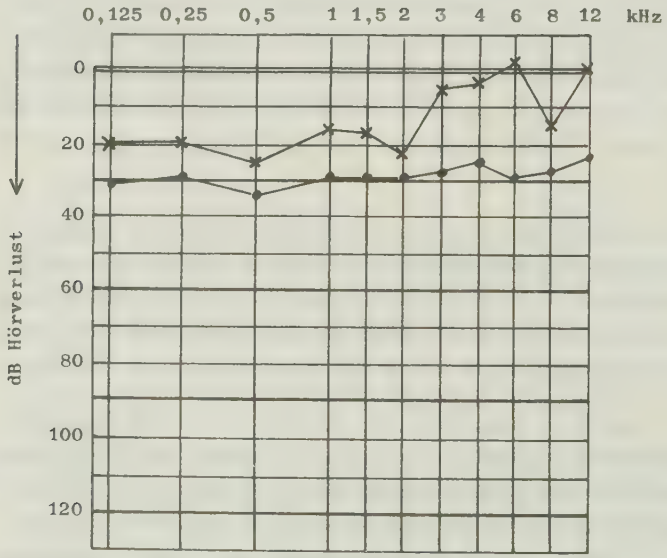


Abb. 13. Tonschwellenaudiogramm von T. K., 21 Jahre, rezeptive Aphasie. ●——● rechtes Ohr, ×——× linkes Ohr

Diese leichte Schwerhörigkeit hätte ohne zentrale Sprachstörung zum

normalen Spracherwerb führen müssen (v. Arentsschild 1970, 2). Die ERA führten wir in gleicher Weise wie bei den gehörlosen Kindern durch, konnten hier aber wegen der niedrigen Schwellen auch den überschwelligen Bereich untersuchen. Für 1000 Hz ermittelten wir nach der Methode von Spreng (1967, 46) die Schwelle bei 10 dB HV und für 500 Hz bei 18 dB HV. Da uns die Probanden nur einmal zur Verfügung standen, hatten wir keine Gelegenheit, die Messungen zu wiederholen. So können wir über die Schwankungsbreite der Meßwerte keine Aussage treffen.

Der Kurvenverlauf der Evoked Potentials scheint vollkommen dem von Normalpersonen zu entsprechen. Bezüglich des Kurvenbildes und der Latenzzeit machte Beagley (1971, 7) an 11 Kindern mit völlig klarer rezeptiver Aphasie die gleichen Beobachtungen. Die Kennlinien für die kortikale Erregung (Abb. 14) zeigen nach erreichtem Lautheitsausgleich normalen Verlauf. Ebenso entspricht das Latenzverhalten den Normalwerten (Abb. 15).

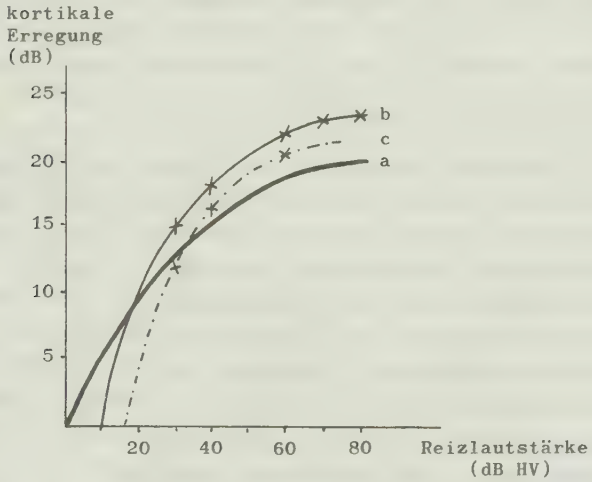


Abb. 14. Reizstärken-Erregungskennlinien
a) Mittelwertkurve von 10 Normalpersonen, 1000 Hz, Vertexableitung nach Stange (1971, 52)
b) Kennlinie von T. K., 21 Jahre, rezeptive Aphasie, 1000 Hz
c) Wie b), jedoch bei der Frequenz 500 Hz

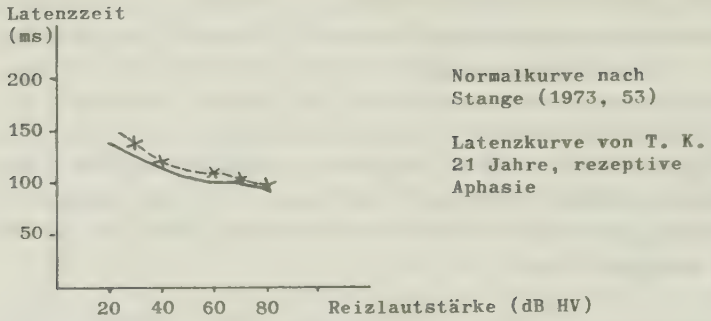


Abb. 15. Diagramm für die Latenz von N_1, gemessen bei 1000 Hz

Aus der Anamnese des jetzt 18jährigen M. Z. ist uns bekannt, daß er seit seinem 18. Lebensmonat an einer zunächst rechtsseitigen Otorrhoe litt. Vier Jahre später wurde auch eine linksseitige Ohreiterung festgestellt. Seine Sprachentwicklung führte nicht über Kindersprache mit Stammeln hinaus. Vom vierten Lebensjahr ab kam es zu einem auffälligen Sprachabbau. In dieser Zeit wurde im Kinderkrankenhaus festgestellt, daß das Kind nicht hörte. Eine Hörprüfung gelang nur mit großen Schwierigkeiten, da das Kind sehr schnell ermüdete. Das Audiogramm (Abb. 16, S. 31) ist daher mit großen Unsicherheiten behaftet. Ein halbes Jahr danach traten im Verlauf einer fieberhaften Erkrankung tonisch-klonische Krämpfe auf. Die EEG-Kontrolle ergab geringe diffuse zerebrale Störungen und einen deutlichen Herdbefund links occipito-temporal. Von einer erneuten von Krampfanfällen begleiteten fieberhaften Erkrankung mit Ausgang vom rechten Ohr nach einer Poliomyelitis-Schluckimpfung berichtet die Krankengeschichte des inzwischen 6jährigen Kindes. Die audiologischen Untersuchungen ergaben jetzt praktische Taubheit. Auch mit einem Hörgerät sprach das Kind kein Wort nach. Im Anschluß an den Besuch des Gehörlosen-Kindergartens wurde der 6jährige M. Z. in die Ernst-Adolf-Eschke-Schule, Gehörlosenschule, eingeschult. Zur Unterdrückung der Anfallsbereitschaft bekam er seither Apydan bis zu seinem 15. Lebensjahr. Von dem 7jährigen M. Z. konnte dann bei verhältnismäßig sicheren Angaben das Audiogramm in der Abb. 17 (S. 31) erstellt werden. Wegen des fehlenden Sprachverständnisses wurde die Diagnose "Grenzfall zwischen Hörstummheit und Seelentaubheit" gestellt. Nach einem weiteren Jahr war keine Schalleitungskomponente

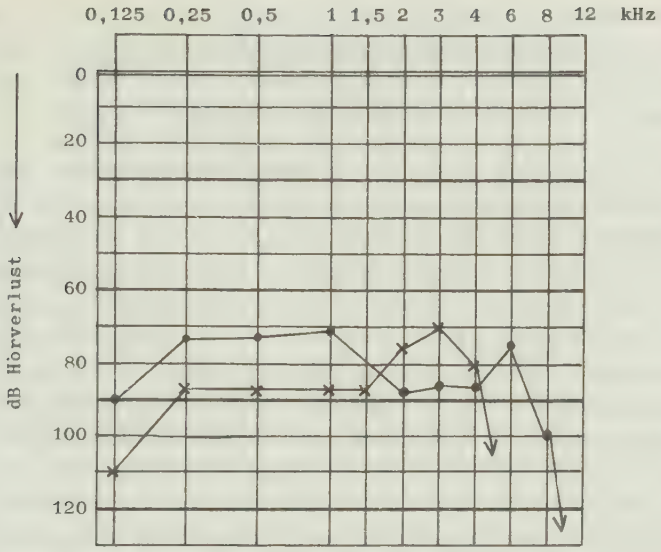


Abb. 16. Tonschwellenaudiogramm von M. Z. im Alter von 4;11 Jahren,
●——● rechtes Ohr, ×——× linkes Ohr

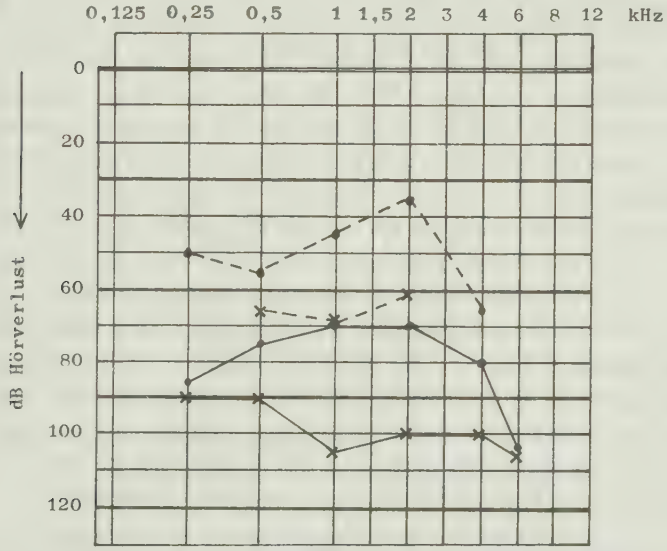


Abb. 17. Tonschwellenaudiogramm von M. Z. im Alter von 7 Jahren,
●——● ●- - - -● rechtes Ohr, ×——× ×- - - -× linkes Ohr

mehr nachzuweisen. Das Kind sprach jetzt einzelne leichte Wörter in 0,5 bis 1 m Entfernung richtig nach. Daher entstanden an der Diagnose einer sensorischen Hörstummheit erhebliche Zweifel. Die Benutzung des verordneten Hörgerätes lehnte das Kind heftig ab.

Heute spricht M. Z. wenig und mit sichtlicher Mühe. Auch sein Wortverständnis umfaßt nur wenige Vokabeln. Er bittet den Sprecher um langsames Sprechen. Zur Unterstützung benutzt er das Absehen. Er ist aber auch mit abgewendetem Gesicht in der Lage, wohlbekannte Wörter zu verstehen und Vokale richtig nachzusprechen. Musik erkennt er als solche. Er kann auch Gesang von Instrumentalmusik unterscheiden, versteht aber den Text des Gesangs nicht, weil nach seinen Worten "zu schnell" gesungen würde. Die verschiedenen Musikinstrumente kann er nicht nach ihrem Klang unterscheiden. Er verwechselte auch bei unserer Untersuchung den Klang einer Glocke mit dem eines Tamburins. Auffallende Fehlleistungen zeigte er bei der Lokalisation eines Schallereignisses (Glocke) in der Medianebene, während die Ortung in der Horizontalebene einwandfrei gelang. In dieser ausgeprägten Form ist das mangelnde Orientierungsvermögen in der Medianebene wohl nicht allein mit dem aus der Abb. 18 (S. 33) ersichtlichen Hochtonverlust zu erklären, obwohl dieser von erheblicher Bedeutung für die Klangfarbe und damit für das vertikale Richtungshören ist (Röser 1969, 40, Röser und Seipel 1973, 41). Nach Fritze und Gloning (1973, 23) ist bei Patienten mit einseitigen temporalen Zerebralschäden das monaurale Richtungshören in der Vertikalebene auf dem kontralateralen Ohr deutlich herabgesetzt im Vergleich zu Gesunden und Patienten mit anderen zerebralen, aber nicht im Temporallappen gelegenen Läsionen. Es ist daher möglich, daß der auffallende Befund in Übereinstimmung mit den neurologischen Untersuchungsergebnissen auf eine Schädigung des linken Temporallappens hindeutet, die die Leistung des rechten, audiometrisch besseren Ohres im vertikalen Richtungshören herabsetzt. Die subjektive Hörprüfung ergab das Tonschwellenaudiogramm in der Abb. 18 (S. 33). Wie im Falle von T. K. erklärt auch bei M. Z. die leichte Schwerhörigkeit nicht das mangelnde Sprachverständnis.

Mit der ERA erhielten wir für 1000 Hz die Schwelle bei 6 dB HV und damit erneut eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Ergebnis der subjektiven Audiometrie.

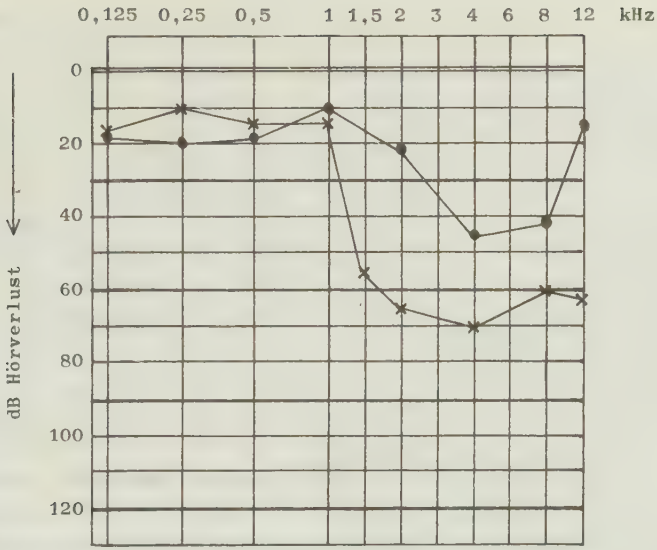


Abb. 18. Tonschwellenaudiogramm von M. Z. im Alter von 18 Jahren, •——•rechtes Ohr, ×——× linkes Ohr

Die Kennlinien für die kortikale Erregung und die Latenz weichen hier stärker von den Mittelwertkurven ab als bei T. K.

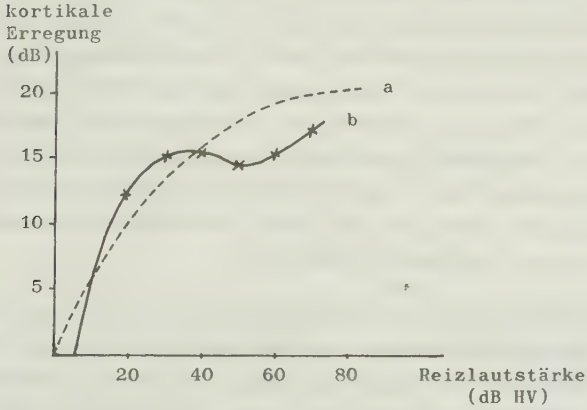


Abb. 19. Reizstärken-Erregungs-Kennlinien für 1000 Hz
a) Mittelwertkurve von 10 Normalpersonen, Vertexableitung nach Stange (1971, 52)
b) Kennlinie von M. Z., 18 Jahre

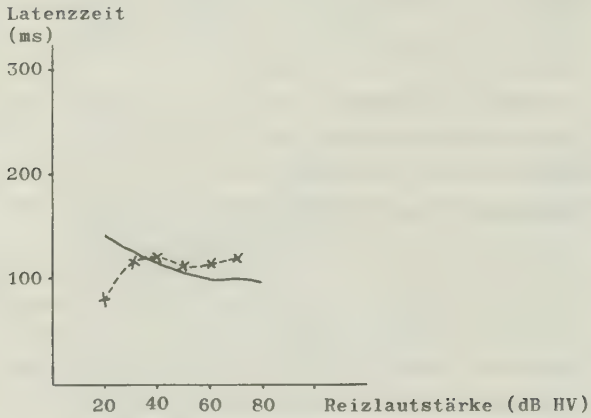


Abb. 20. Diagramm für die Latenz von N_1 bei 1000 Hz, Normalkurve nach Stange (1973, 53), Latenzkurve von M. Z., 18 Jahre

Im Vergleich zu T. K. ist die Störung im vorliegenden Fall offensichtlich massiver. Während dort vorwiegend die Verarbeitung sprachlichen Materials gestört war, ist hier zudem auch das Reizverarbeitungssystem für nichtverbale Laute betroffen. Nach Gloning (1973, 25) gehört dieser Befund durchaus zum Erscheinungsbild einer Läsion in der linken Großhirnhälfte, die für fast alle Rechtshänder die Weiterverarbeitung des gesamten sprachlichen und sprachähnlichen (verbalisierbaren) Materials steuert. Zum verbalisierbaren Material gehören auch z. B. der Klang einer Glocke, einer Trompete, der Gesang eines Kanarienvogels usw., so daß die rechte Hemisphäre nur noch dominant ist für schwer oder gar nicht verbalisierbares Material wie z. B. Tondauer, Tonhöhe oder Akkorde.

Aus den vorliegenden Ergebnissen muß man schließen, daß die ERA bisher weder mit ihren schwellennahen noch mit den überschwelligen Methoden in der Lage ist, eine rezeptive Aphasie zu diagnostizieren. In den beiden geschilderten Fällen ist allein die Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen und dem auf Grund der leichten Schwerhörigkeit zu erwartenden Sprachverständnis und Spracherwerb ein Hinweis auf das Vorliegen einer zentral impressiven Spracherwerbshemmung.

Im Hinblick auf eine rechtzeitige Therapie wäre aber eine diagnostische Möglichkeit in früher Kindheit wichtig, damit diese Kinder gar nicht erst in Gemeinschaft mit Gehörlosen geschult werden. Nach Loebell sollte die Diagnose möglichst vor dem vierten Lebensjahr gestellt werden. Auf keinen Fall sollten nach seiner Auffassung die Kinder in der Gemeinschaft mit Gehörlosen oder Resthörigen untergebracht werden, weil ihre akustische Unerweckbarkeit in der Umgebung Gehörloser, die sich vorwiegend über das visuelle System verständigen, noch gefördert wird (Loebell 1973, 33). Auch die von Burian und Mitarb. entwickelte objektive Sprachverständnis-Audiometrie (Language Evoked Response Audiometry, LERA) (Burian et al. 1969, 13, Burian und Gestring 1971, 15, Burian et al. 1972, 16) versagt naturgemäß in diesem für die Diagnose wichtigen Lebensalter.

Es bleibt daher nur die Möglichkeit, mit der ERA im frühen Kindesalter eine Schwerhörigkeit oder Taubheit auszuschließen und dann in Zusammenarbeit mit allen beteiligten Fachrichtungen eine möglichst frühzeitige Diagnose zu sichern, um therapeutische Maßnahmen einleiten zu können.

D. Diskussion

I. Untersuchung und Auswertung

Die Untersuchungszeit betrug im allgemeinen höchstens eine Stunde. Im Interesse deutlicher Reizantworten sollte man solche Untersuchungen auch nicht länger ausdehnen, da anderenfalls die Kinder unruhig werden und die Kopfhörer als sehr lästig empfinden. Wir beschränkten uns deshalb auf das beschriebene Programm und auf die Untersuchung im relativ unadaptierten Zustand des akustischen Systems, was sich für das gestellte Ziel als durchaus ausreichend erwies. Es empfiehlt sich, darauf zu achten, daß die Kinder keinen Hunger, Durst oder andere Bedürfnisse haben. Auch sollte man sich vor der Untersuchung nach eventuell eingenommenen Medikamenten erkundigen. Nach Burian und Gestring (1971, 15) ist die pharmakologische Beeinflussung neben falscher Kurvenauswertung oder pathologischer metabolischer Störungen des Gehirnstoffwechsels ein häufiger Grund für Abweichungen der ERA-Schwelle von der wirklichen Hörschwelle.

Zur Problematik der Kurvenauswertung gehört auch die Frage, ob Reizantworten auf Töne von 1000 Hz und 110 dB HV als Hörantworten zu werten sind oder dem vibrotaktilen System angehören. Nach v. Békésy sollen Vibrationsempfindungen ab 1000 Hz nicht mehr auftreten (Beckmann und Bähr 1973, 9). Sowohl einige unserer untersuchten Schüler als auch erwachsene Patienten unserer Klinik haben jedoch ein Vibrationsempfinden bei 1000 Hz und 110 dB HV angegeben. Auch Stange und Soda (1968, 50) führen bei dieser Reizintensität bei 1000 Hz eine Spannungsschwankung bei gehörlosen Patienten auf eine Vibrationsperzeption zurück. Sie begründen ihre Aussage mit der Steilheit der ermittelten Reizstärken-Erregungs-Kennlinien, die dem vibratorischen System angehören. Die unterschiedlichen Steigungen der Kennlinien für verschiedene Systeme wurden zuerst von Keidel und Spreng (1965, 31) beschrieben. Spreng und Keidel (1967, 47) berichten von einer mit fünf Jahren ertaubten Studentin, die bei 1000 Hz und 115 dB SPL Vibrationsempfindungen schilderte. Sie sind der Meinung, daß man ab 100 dB SPL bei Kopfhörern und sogar bei Freifeldlautsprechern mit Vibrationsempfindungen rechnen müsse. Aus diesen Gründen haben auch wir evozierte Potentiale bei 1000 Hz und 110 dB HV als wahrscheinlich vibrotaktil evozierte Potentiale angesehen, wenn bei geringeren

Reizlautstärken noch keine Hörantworten erkennbar waren. Der zweite Gipfel bei den Abbildungen 12/III und 12/IV (S. 25) scheint ein weiterer Hinweis auf die Natur dieser Potentiale zu sein.

II. Objektive Schwellenmessung

Die ERA erwies sich mit unserer Methode als gut geeignet, bei Kindern den Grad einer Schwerhörigkeit festzustellen. Um die Untersuchungszeit zu verkürzen, verzichteten wir auf die genaue Extrapolation eines jeden Schwellenwertes aus mehreren überschwelligen Meßwerten, ohne damit zuviel an Genauigkeit einzubüßen. Außerdem kann die Methode nach Spreng bei starker Schwerhörigkeit und Hörrestigkeit kaum angewandt werden, da man bei einem Hörverlust ab 80 dB nicht mehr genügend überschwellige Meßergebnisse erhält, die mit Sicherheit dem auditorischen System zuzuordnen sind. Burian (1969, 14) ermittelte die Schwellen ebenfalls ohne Extrapolation und berichtete anhand von Untersuchungen an einer großen Zahl von Versuchspersonen von einer sehr guten Übereinstimmung beider Methoden sowie einer Fehlerbreite der Schwellenmessungen mit der ERA von 5 bis 10 dB, während die konventionelle Audiometrie gleichfalls mit einer Fehlerbreite von ± 5 dB behaftet ist. Theissing (1966, 56) bevorzugte ebenfalls die Methode des Herantastens an die Schwelle. Er suchte den ersten gerade erkennbaren Kurvenzug auf, subtrahierte 20 dB und erhielt so die Schwelle, die bei kleineren Kindern im allgemeinen etwa 10 dB besser lag als die mit der Spielaudiometrie ermittelte.

Beagley und Kellog (1969, 6) tasteten sich in 5-dB-Schritten an die Schwelle heran und kamen in ihrer Gesamtgruppe, die sich aus Normalhörenden und Patienten zusammensetzte, auf eine mittlere Differenz von 3,3 dB ± 4,3 dB.

Benning, Karnahl und Stange (1972, 10) ermittelten die Schwellen durch Extrapolation nach Spreng und fanden so, daß die objektiven Hörschwellen bei Kleinkindern im Alter von drei bis sechs Jahren um etwa 15 bis 20 dB besser lagen als die subjektiven. Ähnliche Erfahrungen teilten auch Beagley und Knight (1967, 4) mit.

Davis (1965, 20) nannte bei Kindern zwischen 10 und 16 Jahren eine mittlere Differenz zwischen subjektiv und objektiv ermittelter

Schwelle von nur 2,5 dB.

III. Elektrophysiologische Tests als diagnostische Hilfen bei Innenohrschwerhörigkeit

Wir wiesen bereits darauf hin, daß die Latenzzeit nicht geeignet ist, eine rezeptive Aphasie von einer normalen Schwerhörigkeit zu unterscheiden (Sharrard 1971, 43, Beagley 1971, 7). Nach den bisher in der Literatur beschriebenen Untersuchungen scheint auch der Vergleich der subjektiv und objektiv gewonnenen Schwellen keine Klärung zu bringen. Sharrard (1971, 43) stellte in allen Fällen von "language-disorder" in seinen verschiedenen Erscheinungsformen Übereinstimmung der subjektiven Schwellen mit den ERA-Schwellen innerhalb von 10 dB fest. Gloning (1973, 25) berichtet, daß bei einer akustischen Agnosie der tonaudiometrische Befund und die primären Hörleistungen ungestört sein sollen. Nach Loebell (1973, 33), der seit 1949 insgesamt 46 Kinder mit akustischer Agnosie beobachten konnte, beweist die ERA ausreichendes Gehör. Leider wurde nicht angegeben, wie viele dieser Kinder mit der ERA untersucht worden sind. Dagegen kam Beagley (1973, 8) bei der Untersuchung von 77 Personen mit vermutetem nichtorganischen Hörverlust (Non Organic Hearing Loss, NOHL) zu der Erkenntnis, daß ein Hörverlust, der anläßlich einer normalen Reinton-Schwellenaudiometrie erkannt wird, sich aber mit der ERA nicht bestätigt, fast immer eine nichtorganische Ursache hat, wenn auch die Bestätigung dessen durch andere Untersuchungen ratsam ist.

Zusammenfassend kann man feststellen:

1. Die Zahl der mit allen heute zur Verfügung stehenden Mitteln als akustische Agnosie in ihren verschiedenen Erscheinungsformen diagnostizierten Fälle ist zu gering, um eine gesicherte Aussage darüber machen zu können, ob mit der ERA eine Diagnose dieses Leidens möglich ist.
2. Nach Beagley (1973, 8) deutet ein signifikanter Unterschied zwischen subjektiv und objektiv gemessener Schwelle eher auf einen nichtorganischen Hörverlust als auf eine akustische Agnosie, die zentralorganisch bedingt ist.

Die ersten Schritte, die EEG-Audiometrie zur Beurteilung zentraler Hörstörungen zu verwenden, unternahm Theissing (1966, 56). Er stell-

te bei zerebralgeschädigten Kindern besonders nach abgelaufener Meningitis Verzögerungen des zeitlichen Ablaufs im Kurvenbild der evozierten Potentiale fest. Die Beobachtungen waren aber nicht immer reproduzierbar. Wegen der negativ zum Alter korrelierten großen Variabilität von Amplitude und Latenz bei Kindern (Callaway and Halliday 1973, 17) sind derartige Beobachtungen nicht beweiskräftig. Dem gleichen Gedanken ging Schunicht (1973, 42) mit Hilfe einer differenzierteren Untersuchungsmethode nach. Er variierte die Reizperiode. Dabei stellte er fest, daß bei normalhörenden Personen und solchen mit peripheren Hörstörungen zwar die Amplitude, nicht aber der zeitliche Ablauf der Reizantwort von der Länge der Reizperiode abhängt. Dagegen beobachtete er an 17 Kindern, bei denen trotz normaler Hörschwelle auf Grund subjektiver Hörstörungen oder einer verzögerten Sprachentwicklung eine zentrale Hörstörung vermutet wurde, regelrechte kortikale Antworten bei Reizperioden von 5 sec und eine Verformung zu atypischen Reizantworten bei Verkürzung der Periode auf 1 sec.

Erhebliche Fortschritte brachten auf diesem Gebiet die Untersuchungen von Spreng und Keidel (1967, 47), Yoshie et al. (1967, 57), Stange und Soda (1968, 50), Yoshie (1968, 58), Yoshie und Yamaura (1969, 59), Stange und Holm (1970, 51), Benning, Karnahl und Stange (1972, 10), Gerull et al. (1972, 24), Holm und Stange (1972, 27), Karnahl und Stange (1972, 29), Holm und Stange (1973, 28), Stange (1973, 53).

Spreng und Keidel sowie Yoshie und Mitarb. untersuchten neben dem Cerebroaudiogramm (CAG) das Neuroaudiogramm (NAG) sowie das Otoaudiogramm (OAG). Während das CAG durch elektrophysiologische Messung die Erregung zentraler Teile der Hörbahn erfaßt, wobei auch Einflüsse des gesamten Sensoriums wie z. B. Drosselung und Bahnung von Stammhirnzentren zwangsläufig eine Rolle spielen, gründet sich das NAG auf die elektrophysiologische Messung des Summenaktionspotentials des Nervus acusticus und erscheint im Latenzbereich 1,5 bis 4 ms. Das OAG beruht schließlich auf der Registrierung der Mikrophonpotentiale der Cochlea. Die Mitarbeiter des 1. Physiologischen Instituts der Universität Erlangen-Nürnberg bemühen sich um die Entwicklung leistungsfähiger Korrelatoren, da die den Schalldruckschwankungen getreu folgenden Potentialschwankungen nur mit dem

Verfahren der Korrelation aus einer großen Störung herausgelöst werden können.

Schließlich beschreiben Gerull et al. ein von der Kopfhaut ableitbares evoziertes Potential im Latenzbereich 6 bis 10 ms, dessen Ursprung im Colliculus inferior vermutet wird.

Alle diese Verfahren befinden sich noch in der Entwicklung und gestatten vielleicht in der Zukunft wegen des unterschiedlichen Ursprungsortes der Potentiale eine genauere topische Zuordnung klinisch-pathologischer Zustände. Allerdings erfordert eine genaue Lokalisation eventuell das Durchlaufen mehrerer der genannten Untersuchungsgänge.

Dagegen verfolgen Stange und Mitarb. das Ziel einer supraliminären ERA-Diagnostik in dem Sinne, daß sie Kennlinien für Amplituden und Latenzen sowohl für normalhörende Erwachsene als auch für normalhörende Kinder einschließlich der relativen Standardabweichungen in Abhängigkeit von der Lautstärke berechnen und dokumentieren. Ferner werden ebensolche ERA-Kennlinien von hörgeschädigten Erwachsenen und Kindern gesammelt und nach Typen so geordnet, daß man durch den Vergleich der pathophysiologischen mit den normalen Kennlinien bestimmte pädaudiologische Folgerungen ziehen kann. Darüber hinaus wollen die Verfasser oben zitierter Arbeiten Beziehungen zwischen typischen pathophysiologischen Kennlinien der Latenz N_1 und der kortikalen Erregung einerseits und ganz bestimmten Hörschädigungen und pädaudiologischen Untersuchungsergebnissen andererseits knüpfen. Die überschwellige ERA-Diagnostik soll in schwierigen Fällen Aufschluß über das Verhalten des akustischen Systems und damit über die zu ergreifenden Therapiemaßnahmen vermitteln.

Ein ganz ähnliches Ziel für den peripheren Anteil der Hörbahn verfolgt die Cochleographie, die seit 1966 rasch an Bedeutung gewonnen hat. Hierbei werden, wie erwähnt, die Summenaktionspotentiale des 8. Gehirnnerven durch ein Mittelungsverfahren aufgezeichnet. Die störenden Mikrophonpotentiale werden durch abwechselnde Phasenumkehr herausgemittelt. Nachdem die Cochleographie anfänglich nur an Patienten mit ausreichend großen Trommelfellperforationen, durch die das runde Fenster mit einer Elektrode erreichbar war, ausgeführt

werden konnte (Portmann et al. 1968, 35), kann man die Ableitung heute vom äußeren Gehörgang (Yoshie et al. 1969, 59), vom Ohrläppchen (Sohmer und Feinmesser 1967, 44), vom Mastoid (Spreng und Keidel 1967, 47) oder mit Hilfe einer dünnen Nadelelektrode vom Promontorium der Cochlea (Portmann und Aran 1971, 36, Aran 1971, 1) vornehmen. Die letztgenannte Methode kann bei Erwachsenen und Kindern vom achten Lebensjahr an unter lokaler Anästhesie des Trommelfells, bei kleineren Kindern in leichter Allgemeinnarkose angewandt werden. Die Narkose, die keine Intubation erfordert, soll mehr der Sedierung als der Analgesie dienen.

Kennlinien, wie sie z. B. Abb. 21 zeigt, vermitteln einen bisher auf keinem anderen Wege erreichbaren Einblick in das erste Glied der Kette akustischer Reizverarbeitung. Informationen über die nachgeschalteten Leistungen des auditorischen Systems sind natürlich von der Cochleographie nicht zu erwarten.

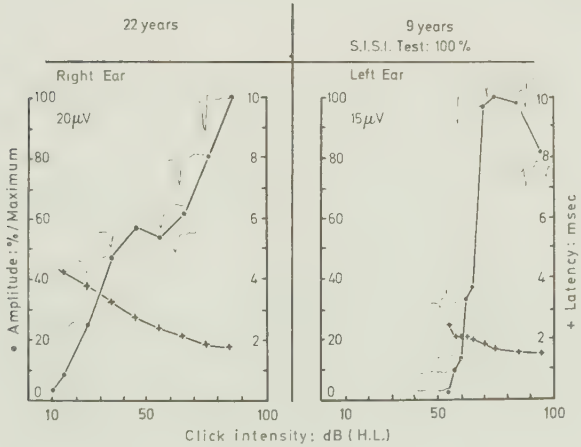


Abb. 21. Vergleich der Kennlinien für Amplitude und Latenz einer normalhörenden 22jährigen Patientin und eines 9jährigen Kindes mit Recruitment aus J.-M. Aran (1971, 1) mit freundlicher Genehmigung des Autors

Ein Elektrocochleogramm liefert folgende Informationen:

1. Die Schwelle für die verwendeten Clicks.
2. Die maximale Amplitude der summierten Antwort.
3. Die Form der Antwort.
4. Die Form der Kennlinien.
5. Die Schwellen und Antwortmuster für die bei verschiedenen Frequenzen gefilterten Hochtonclicks.

Um die Aufstellung eines Katalogs pathophysiologisch typischer Muster sind die Mitarbeiter des Laboratoriums für experimentelle Audiologie der HNO-Klinik der Universität Bordeaux (Direktor: Prof. Dr. M. Portmann) erfolgreich bemüht. Gegenüber der ERA besitzt die Cochleographie noch den Vorteil des geringeren Zeitbedarfs; für 900 Clicks werden $1\frac{1}{2}$ Minuten benötigt. Ferner kann die Reizgabe über Freifeldlautsprecher erfolgen, und eine Vertäubung des Gegenohrs ist überflüssig. Abschließend kann man sagen, daß die Elektrocochleographie sich zu einer wichtigen Untersuchungsmethode insbesondere für hörgestörte Kleinkinder entwickelt hat. Diese Methode wird es in naher Zukunft gestatten, zu einem sehr frühen Zeitpunkt die Funktion des Innenohrs zu beurteilen und entsprechende Therapiemaßnahmen zu ergreifen.

E. Zusammenfassung

72 Schüler der Gehörlosenschule in Berlin-Charlottenburg im Alter von 7 bis 17 Jahren sowie zwei ehemalige Schüler dieser Schule wurden mit Hilfe der ERA und subjektiver Tonschwellenaudiometrie untersucht. Das durchschnittliche Alter der Schüler betrug 11,8 Jahre. Die Untersuchung zeigte folgende Ergebnisse:

1. Die Kinder ließen sich gut testen. Nur vier Kinder (5,5 %) zeigten leichte motorische Unruhe. Ein Kind war subjektiv nicht audiometrierbar.

2. Im subjektiven Test hatten bei 500 Hz 48,6 % und bei 1000 Hz 12 % aller untersuchten Schüler einen geringeren Hörverlust als 90 dB.

3. Zur Ermittlung der Hörschwelle allein genügt es, ohne Extrapolation nach Spreng die kleinste deutliche Reizantwort aufzusuchen.

4. Wir konnten mit unserem ERA-Programm in 95,4 % aller untersuchten Schüler ein klares Bild über die Hörschwellen bei 500 Hz und 1000 Hz gewinnen.

5. Die mittlere Differenz zwischen den objektiv und subjektiv gemessenen Schwellen betrug für 500 Hz 5,4 dB. Im allgemeinen lag die objektiv ermittelte Schwelle höher als die subjektiv erhaltene.

6. Bei 15,4 % aller untersuchten Schüler ergab sich ein geringerer HVT als 90 dB. Der Prozentsatz war bei früheren Erhebungen höher.

7. Von elf Kindern mit einem HVT unter 90 dB besaßen fünf Kinder ein Hörgerät und trugen es regelmäßig, sechs dieser Kinder, darunter vier türkische Kinder, trugen kein Hörgerät.

8. Die mittlere Latenzzeit für die erste vertexnegative Spitze N_1 betrug bei 500 Hz 137 ms (±33 ms) und bei 1000 Hz 135 ms (±28ms). Für optisch und vibrotaktil evozierte Potentiale lag die entsprechende Latenzzeit bei 147 ms (±24 ms) bzw. 152 ms (±21 ms).

9. Innerhalb der untersuchten Gruppe von Schulkindern konnten wir keine signifikanten altersabhängigen Latenzunterschiede feststellen.

10. Die audiometrische Untersuchung der beiden ehemaligen Schüler mit

zentralen Hörstörungen hatte folgende Ergebnisse:

a) Beide zeigten im Tonschwellenaudiogramm nur eine ganz leichte Schallempfindungsschwerhörigkeit.

b) Die mit der ERA nach der Methode von Spreng ermittelten Schwellen stimmten in beiden Fällen sehr gut mit den subjektiv erhaltenen Schwellenwerten überein.

c) Die Reizstärken-Erregungs-Kennlinie für 1000 Hz zeigte bei T. K. (21 Jahre) nach erreichtem Lautheitsausgleich normalen Verlauf. Bei M. Z. (18 Jahre) lagen für Lautstärken über 40 dB HV die Werte für die kortikale Erregung unter den Normwerten.

d) Das Latenzverhalten entsprach bei T. K. der Norm, bei M. Z. hingegen zeigte die Latenzkurve erhebliche Abweichungen von der Normalkurve.

F. Literaturverzeichnis

1. ARAN, J.-M.: The Electro-Cochleogram. Recent Results in Children and in Some Pathological Cases.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 198 (1971), 128

2. ARENTSSCHILD, O. v.: Die apparative Hörhilfe in Theorie und Praxis. Habilitationsschrift (Med.) FU Berlin 1970

3. ASEN, K.: Ärztliche Aufgaben und Untersuchungsergebnisse bei der Betreuung Gehörloser. Med. Diss., FU Berlin 1971

4. BEAGLEY, H. A., J. J. KNIGHT: The Auditory Evoked Cortical Response as an Index of Hearing in Practical Audiometry. J. Laryng. (London) 81 (1967), 347

5. BEAGLEY, H. A., J. J. KNIGHT: Changes in Auditory Evoked Response with Intensity.
J. Laryng. (London) 81 (1967), 861

6. BEAGLEY, H. A., S. E. KELLOGG: A Comparison of Evoked Response and Subjective Auditory Thresholds.
Int. Audiol. 8 (1969), 345

7. BEAGLEY, H. A.: The Role of E.R.A. in the Diagnosis of Receptive Aphasia.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 198 (1971), 152

8. BEAGLEY, H. A.: The Role of Electro-Physiological Tests in the Diagnosis of Non-Organic Hearing Loss.
Audiology 12 (1973), 470

9. BECKMANN, G., B. BÄHR: Über das Restgehör nach frühkindlicher Meningitis und Mumps. HNO (Berlin) 21 (1973), 52

10. BENNING, C. D., TH. KARNAHL, G. STANGE: ERA-Kennlinien und Latenzen bei 15 normalhörenden Kleinkindern.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 201 (1972), 222

11. BLASCHKE, J.: Schülerstatistik 1950 - 1960.
Festschrift der Ernst-Adolf-Eschke-Gehörlosenschule Berlin-Charlottenburg 1961.

12. B O C H E N E K , W., Z. B O C H E N E K : Evoked Response Audiometry in Patients with Peripheral Hearing Loss. Audiology 11 (1972), 294

13. B U R I A N , K., G. F. G E S T R I N G , M. H A I D E R : Objective Speech Audiometry. Int. Audiol. 8 (1969), 387

14. B U R I A N , K.: Evoked Response Audiometry (ERA) - ein objektives Hörprüfungsverfahren. HNO (Berlin) 17 (1969), 353

15. B U R I A N , K., G. F. G E S T R I N G : Discrepancies between Subjective and Objective Acoustic Thresholds. Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 198 (1971), 73

16. B U R I A N , K., G. F. G E S T R I N G , K. G L O - N I N G , M. H A I D E R : Objective Examination of Verbal Discrimination and Comprehension in Aphasia Using the Contingent Negative Variation. Audiology 11 (1972), 311

17. C A L L A W A Y , E., R. A. H A L L I D A Y : Evoked Potential Variability: Effects of Age, Amplitude and Methods of Measurement. Electroenceph. clin. Neurophysiol. (Amsterdam) 34 (1973), 125

18. C O D Y , D. T. R., R. G. B I C K F O R D : Cortical Audiometry: an Objective Method of Evaluating Auditory Acuity in Man. Proc. Mayo Clin. 40 (1965), 273

19. D A V I S , H., N. Y O S H I E : Human Cortical Responses to Auditory Stimuli. Physiologist 6 (1963), 164

20. D A V I S , H.: Slow Cortical Responses Evoked by Acoustic Stimuli. Acta oto-laryng. (Stockh.) 59 (1965), 179

21. D A V I S , H., S. O N I S H I : Maturation of Auditory Evoked Potentials. Int. Audiol. 8 (1969), 24

22. D A W S O N , G. D.: Cerebral Responses to Electrical Stimulation of Peripheral Nerve in Man. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 10 (1947), 134

23. F R I T Z E , W., K. G L O N I N G : Ein Beitrag zum monauralen Richtungshören. Mschr. Ohrenheilk., (Wien) 107 (1973), 432

24. G E R U L L , G., M. G I E S E N , D. M R O W I N S K I , N. R U D O L P H : Untersuchung eines frühen, von der Kopfhaut ableitbaren Potentials für die objektive Audiometrie. HNO (Berlin) 20 (1972), 339

25. G L O N I N G , K.: Zentrale Hörstörungen. Mschr. Ohrenheilk., (Wien) 107 (1973), 49

26. H A Y , I. S., H. D A V I S : Slow Cortical Evoked Potentials: Interactions of Auditory, Vibrotactile and Shock Stimuli. Audiology 10 (1971), 9

27. H O L M , C., G. S T A N G E : Pathologische ERA-Kennlinien als Kriterien zur Wirkungsweise von Hörtrainern. Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 202 (1972), 471

28. H O L M , C., G. S T A N G E : Überschwellige ERA-Befunde als therapeutische Basis zur Versorgung innenohrgeschädigter Kinder. HNO (Berlin) 21 (1973), 163

29. K A R N A H L , T H., G. S T A N G E : Ergebnisse bei der Standardisierung der "Electric Response Audiometry" (ERA). Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 202 (1972), 452

30. K E I D E L , W. D., M. S P R E N G : Elektronisch gemittelte langsame Rindenpotentiale des Menschen bei akustischer Reizung. Acta oto-laryng. (Stockh.) 56 (1963), 318

31. K E I D E L , W. D., M. S P R E N G : Audiometric Aspects and Multisensory Power Functions of Electronically Averaged Slow Evoked Cortical Responses in Man. Acta oto-laryng. (Stockh.) 59 (1965), 201

32. K U S C H I N S K Y , G.: Bemerkungen zur Frage der Indikationen und der sogenannten Entgiftung des Streptomycin (Dihydrostreptomycin). Dtsch. med. Wschr. 91 (1966), 1150

33. L O E B E L L , E.: Die akustische Agnosie.
Mschr. Ohrenheilk., (Wien) 107 (1973), 58

34. M Ü C K T E R , H.: Bemerkungen zur Frage der Indikationen und der sogenannten Entgiftung des Streptomycins.
Dtsch. med. Wschr. 91 (1966), 2181

35. P O R T M A N N , M., J.-M. A R A N , G. L E B E R T : Electro-cochléogramme humain en dehors de toute intervention chirurgicale. Acta oto-laryng. (Stockh.) 65 (1968), 105

36. P O R T M A N N , M., J.-M. A R A N : Electrocochleography. Laryngoscope (St. Louis) 81 (1971), 899

37. R A P I N , I., L. J. G R A Z I A N I : Auditory - Evoked Responses in Normal, Brain-Damaged, and Deaf Infants.
Neurology (Minneap.) 17 (1967), 881

38. R A P I N , I., R. J. R U B E N , M. L Y T T L E : Diagnosis of Hearing Loss in Infants Using Auditory Evoked Responses. Laryngoscope (St. Louis) 80 (1970), 712

39. R Ö S E R , D.: Bestimmung des prozentualen Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm. Z. Laryng. Rhinol. 46 (1967), 568

40. R Ö S E R , D.: Die Richtungsempfindung für Schall innerhalb der Medianebene.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 194 (1969), 473

41. R Ö S E R , D., K. S E I P E L : Über das Zustandekommen einer Richtungsempfindung in der Medianebene.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 205 (1973), 256

42. S C H U N I C H T , R.: ERA-Befunde bei fehlhörigen Kindern mit normaler Hörschwelle.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 205 (1973), 249

43. S H A R R A R D , G. A. W.: The Auditory Evoked Potentials of Language Disordered Children.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 198 (1971), 158

44. S O H M E R , H., M. F E I N M E S S E R : Cochlear Action Potentials Recorded from the External Ear in Man.
Ann. Otol. (St. Louis) 76 (1967), 427

45. S P R E E N , O. A., L. B E N T O N , R. W. F I N C H A M : Auditory Agnosia without Aphasia.
Arch. Neurol. (Chic.) 13 (1965), 84

46. S P R E N G , M.: Über die Messung der Frequenzgruppe und der Integrationszeit des menschlichen Gehörs durch vom Schall abhängige Gehirnspannungen längs der Kopfhaut.
Diss. T.H. Stuttgart 1967

47. S P R E N G , M., W. D. K E I D E L : Separierung von Cerebroaudiogramm (CAG), Neuroaudiogramm (NAG) und Otoaudiogramm (OAG) in der objektiven Audiometrie.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 189 (1967), 225

48. S P R E N G , M.: Detection of Influence of Latency Variability upon the Averaged Evoked Responses.
Int. Audiol. 9 (1970), 304

49. S T A N G E , G.: Adaptation - ein Kriterium zur Funktion des akustischen Sinnessystems.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 187 (1966), 605

50. S T A N G E , G., T. S O D A : Quantitative Untersuchungen zur Hörschwelle, Adaptation und Lautheitsempfindung am gesunden und hörgeschädigten Menschen mittels der "Objektiven Audiometrie".
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 190 (1968), 210

51. S T A N G E , G., C. H O L M : Gemittelte zentrale akustische Reizantworten - eine Erweiterung pädaudiologischer Gesichtspunkte? HNO (Berlin) 18 (1970), 27

52. S T A N G E , G.: The Relation between Functional Parameters of Subjective and Objective Audiometry.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 198 (1971), 85

53. S T A N G E , G.: Diagnostik überschwelligen Hörvermögens bei innenohrgeschädigten Kindern. HNO (Berlin) 21 (1973), 83

54. S T U P P , H. F.: Untersuchung der Antibiotikaspiegel in den Innenohrflüssigkeiten und ihre Bedeutung für spezifische Ototoxizität der Aminoglycosidantibiotika.
Habilitationsschrift Med. Akad. Düsseldorf 1967

55. T H E I S S I N G , H. J.: Objektive Hörprüfung im Kindesalter. Aktuelle Oto-Rhino-Laryngologie Heft 4 Thieme Stuttgart 1970

56. T H E I S S I N G , J.: Klinische Möglichkeiten und Ergebnisse der objektiven Audiometrie mit Computertechnik.
Arch. klin. exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk. Heilk. 187 (1966), 612

57. Y O S H I E , N., T. O N A S H I , T. S U Z U K I :
Non-Surgical Recording of Auditory Nerve Action Potentials in Man. Laryngoscope (St. Louis) 77 (1967), 76

58. Y O S H I E , N.: Auditory Nerve Action Potential Responses to Clicks in Man. Laryngoscope (St. Louis) 78 (1968), 198

59. Y O S H I E , N., K. Y A M A U R A : Cochlear Microphonic Responses in Man Recorded by a Non-Surgical Method.
Acta oto-laryng. (Stockh.) 252 (1969), 36

Nachtrag zum Literaturverzeichnis

60. ARAN, J.-M., M. NEGREVERGNE: Aspects cliniques de quelques formes pathologiques particulières des réponses du nerf auditif chez l'homme. Audiology 12 (1973), 488

61. DAVIS, H.: Classes of Auditory Evoked Responses. Audiology 12 (1973), 464

62. EHRENBERGER, K., J. A. GANGLBERGER, J. INNITZER, M. LESSEL: Zur Frage der Generatoren akustisch evozierter Potentiale. HNO (Berlin) 23 (1975), 192

63. GELDER, L. VAN: Aphasie als Kommunikationsstörung. HNO (Berlin) 22 (1974), 92

64. GERULL, G., M. GIESEN, D. MROWINSKI, N. RUDOLPH: Klinischer Einsatz verschiedener ERA-Verfahren zur Untersuchung von Funktionsstörungen der Hörbahn. Laryng. Rhinol. 54 (1975), 671

65. HOLM, C.: Pädaudiologische Konsequenzen aus ERA-Befunden. Arch. Oto-Rhino-Laryng. 206 (1974), 253

66. LEITNER, H.: Ein neues Verfahren zur automatischen Auswertung der ERA mit Hilfe der stochastisch-ergodischen Konversion (SEC). Laryng. Rhinol. 54 (1975), 677

67. PORTMANN, M., M. NEGREVERGNE: Apport de l'électrocochléographie dans l'examen audiométrique de l'enfant. Rev. Laryng. (Bordeaux) 94 (1973), 359

68. SCHUNICHT, R., G. ESSER: ERA-Befunde bei zentralen Hörstörungen. Arch. Oto-Rhino-Laryng. 206 (1974), 217

69. SPRENG, M.: Neuere Hinweise zu ERA und ECOG - aus physiologischer Sicht. Arch. Oto-Rhino-Laryng. 206 (1974), 191

70. STANGE, G.: Topodiagnostik aus der ERA. Arch. Oto-Rhino-Laryng. 206 (1974), 235

71. V E S E L Y , C., L. F A L T Y N E K , J. P E R E G R I N : Über die Methode der Schwellenmessung mittels der Evoked Response Audiometry (ERA). Vestn. Oto-rino-laring. (Moskau) Nr. 3 (1973), 16

72. Y O S H I E , N.: Diagnostic Significance of the Electrocochleogram in Clinical Audiometry. Audiology 12 (1973), 504

73. Z Ö L L N E R , C H., T H. K A R N A H L : Elektrokochleographisches Potentialmuster, an verschiedenen Ableitungsorten registriert. Laryng. Rhinol. 54 (1975), 681

Herrn Prof. Dr. med. v. Arentsschild danke ich für die freundliche Überlassung des Themas, seine stete Hilfsbereitschaft und wissenschaftliche Beratung.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Mrowinski bin ich für die freundliche Beratung bei der Abfassung der Arbeit zu Dank verpflichtet.

Ebenso danke ich Herrn Dr. Handrock für seine verständnisvolle Unterstützung.

Den Audiometrieassistentinnen Frau Gensicke, Frau Golle, Fräulein Mustroph und Frau Poensgen danke ich für ihre freundliche Hilfe bei den audiometrischen Untersuchungen.

Herrn Claus möchte ich besonders für seine unermüdliche Hilfsbereitschaft in allen technischen Fragen danken.

Nicht zuletzt sei Herrn Oberstudiendirektor Blau, Herrn Studiendirektor Blaschke, der Schulsekretärin Frau Sikorski sowie den Damen und Herren des Lehrerkollegiums der Ernst-Adolf-Eschke-Schule, die durch ihre Unterstützung die Durchführung der Untersuchungen ermöglicht haben, an dieser Stelle vielmals gedankt.

L e b e n s l a u f

Am 6. 1. 1931 wurde ich als zweite Tochter des Ehepaares Willi und Elise Blumenthal in Gerwisch bei Magdeburg geboren.

Die Reifeprüfung bestand ich am 13. 7. 1949 an der Helene-Lange-Schule in Magdeburg. Vom Wintersemester 1949/50 bis zum Sommersemester 1955 studierte ich Mathematik und Physik an der Humboldt-Universität zu Berlin. Dort bestand ich im Jahre 1955 das Staatsexamen für das Lehramt an der Oberstufe. Danach war ich zunächst als wissenschaftliche Assistentin am II. Mathematischen Institut der Humboldt-Universität und schließlich als Lehrerin im Schuldienst in Magdeburg tätig. Nach Anerkennung meines Staatsexamens am 13. 3. 1959 durch den Senator für Volksbildung in Berlin war ich im Berliner Schuldienst tätig. Auf eigenen Antrag wurde ich aus diesem Dienstverhältnis am 15. 4. 1969 als Oberstudienrätin entlassen. Im Sommersemester 1970 erhielt ich die Zulassung zum Studium der Humanmedizin an der Freien Universität Berlin. Dort bestand ich am 8. 9. 1970 die naturwissenschaftliche Vorprüfung, am 21. 3. 1972 die ärztliche Vorprüfung und am 28. 8. 1975 die ärztliche Prüfung.